

# Escenarios regionalizados de cambio climático sobre España

Santos Eduardo Petisco de Lara  
Área de Evaluación y Modelización del  
Clima

## ESCENARIO CLIMÁTICO

- UN ESCENARIO CLIMÁTICO SE REFIERE A UNA ALTERNATIVA PLAUSIBLE O RAZONABLE DE CLIMA FUTURO GLOBAL O REGIONAL DERIVADA DE LOS PREVISIBLES AUMENTOS DE CONCENTRACIONES ATMOSFÉRICAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y AEROSOLLES DEBIDOS A LAS ACTIVIDADES HUMANAS
- SE CONSTRUYE ESPECÍFICAMENTE PARA INVESTIGAR LAS CONSECUENCIAS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO DE ORIGEN ANTROPOGÉNICO

ESCENARIO CLIMÁTICO  $\Rightarrow$  BASE PARA ANÁLISIS DE  
IMPACTOS



- NO SOLO SON IMPORTANTES LAS VARIACIONES DE LOS VALORES MEDIOS DE LAS VARIABLES DE INTERÉS, SINO TAMBIÉN LOS CAMBIOS EN SU VARIABILIDAD Y EN LOS VALORES EXTREMOS (Frecuencias de olas de frío o de calor, sequías, precipitaciones torrenciales).



- **DEBIDO A LA INCERTIDUMBRE SOBRE EMISIONES FUTURAS Y SOBRE LA EVOLUCIÓN DE OTROS FACTORES SOCIO-ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES ES NECESARIO CONSTRUIR DIVERSAS ALTERNATIVAS POSIBLES O ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO**

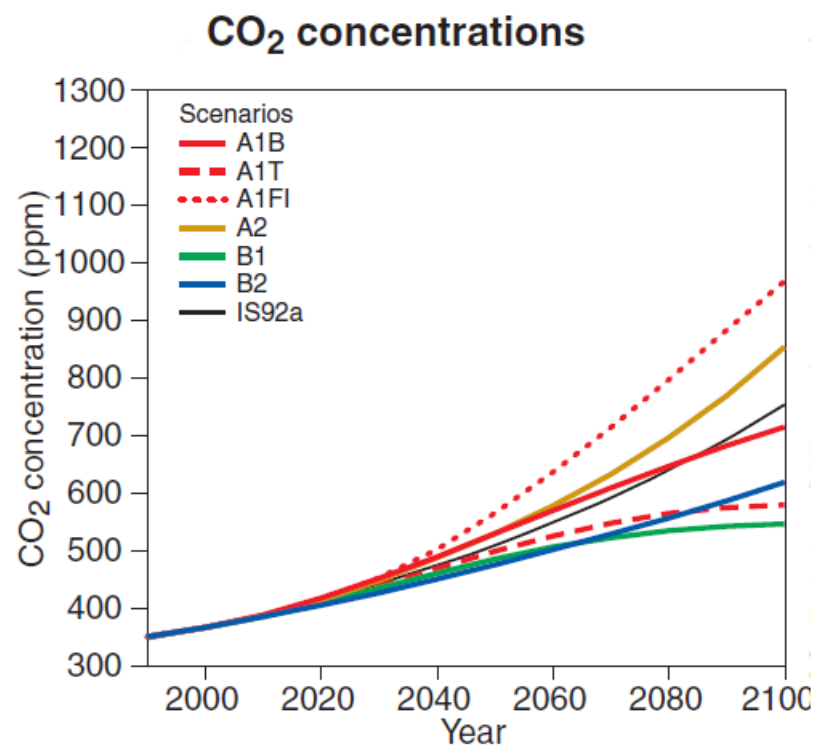




## LOS ESCENARIOS DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL IPCC (SRES)

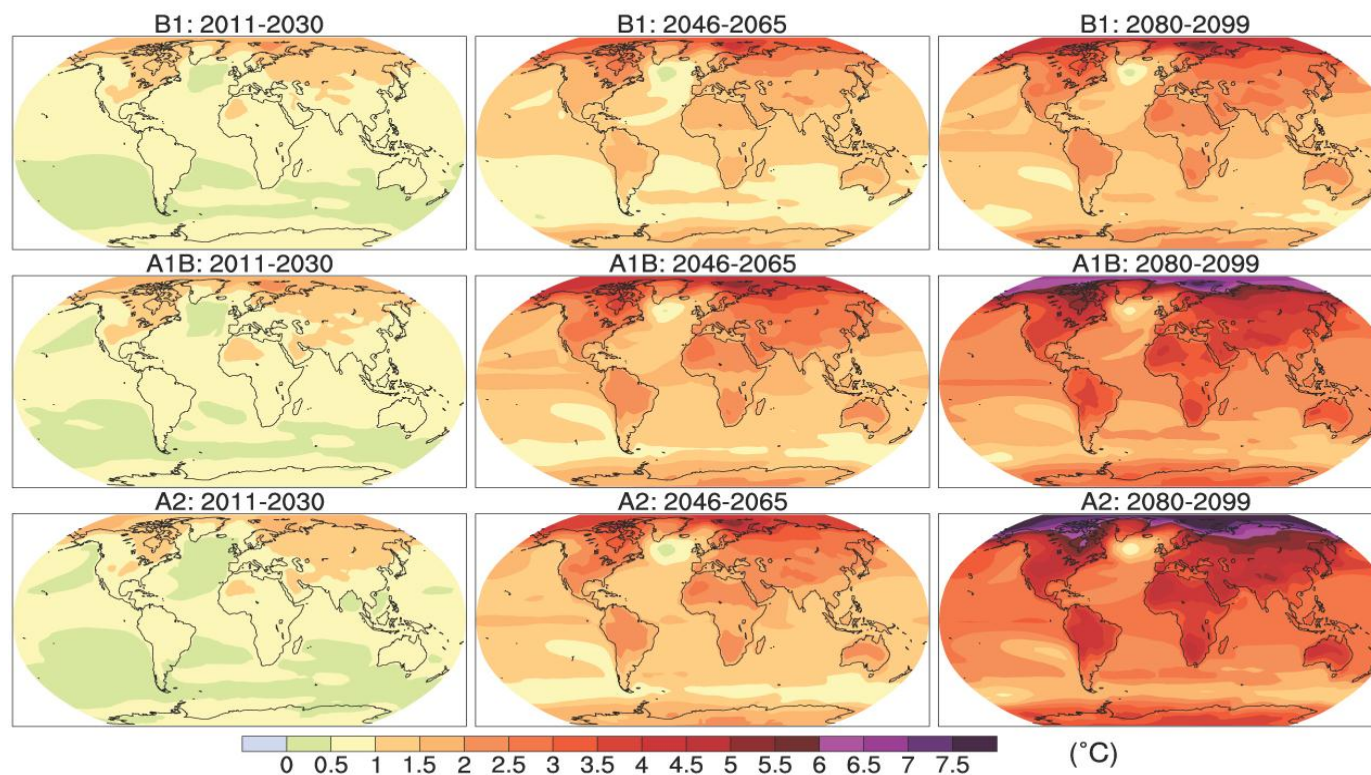
- EL IPCC HA ELABORADO DIVERSAS ALTERNATIVAS POSIBLES DE ESCENARIOS DE EMISIÓN QUE DEPENDEN FUNDAMENTALMENTE DE DIVERSAS POSIBILIDADES DE CRECIMIENTO ECONÓMICO, DE UTILIZACIÓN DE DIVERSAS FUENTES DE ENERGÍA Y DE DIVERSAS POSIBILIDADES DE CRECIMIENTO DE POBLACIÓN.

## CONCENTRACIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO ASOCIADAS A DISTINTOS ESCENARIOS DE EMISIÓN



Fuente: IPCC

## ESCENARIOS DE INCREMENTO DE TEMPERATURA GLOBAL PARA DIVERSOS ESCENARIOS DE EMISIÓN SRES EN DIVERSOS PERIODOS (Fuente IPCC)



Fuente: IPCC



## EL ESCENARIO E1

- Aparte de los anteriores escenarios, últimamente, en el marco del proyecto ENSEMBLES “stream2”, se ha utilizado el escenario E1.
- El escenario E1 está basado en la estabilización del forzamiento radiativo de origen antropogénico, al equivalente a una concentración de dióxido de carbono de alrededor de 450 ppm durante el siglo XXII.
- Se trataría así de conseguir el objetivo de mantener el calentamiento global antropogénico por debajo de 2 ° C sobre los niveles preindustriales.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE  
Y MEDIO RURAL Y MARINO

**AEMet**  
Agencia Estatal de Meteorología

## LOS MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL Y EL ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

- Constituyen, en principio, las herramientas más creíbles para simular el comportamiento del clima
- Tienen la posibilidad potencial de estimar cambios regionales geográfica y físicamente consistentes
- Inconveniente del límite de resolución de rejilla, grosera en relación con la escala de las unidades de exposición afectadas por los impactos
- Los AOGCMs simulan aceptablemente el clima a escala global pero no tanto a escala regional ni para todas las variables.





- DADO QUE, EN MUCHOS CASOS, LOS IMPACTOS SE HAN DE ANALIZAR A ESCALA REGIONAL O LOCAL, LA INFORMACIÓN DERIVADA DE LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS UTILIZADA EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS HA DE SER REGIONALIZADA
- OBJETIVO
- ESTIMACIÓN DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA A ESCALA LOCAL O REGIONAL EN FUNCIÓN DE LA INFORMACIÓN A MAYOR ESCALA PROPORCIONADA POR LOS MODELOS





## VIAS DE SOLUCIÓN: TÉCNICAS DE REGIONALIZACIÓN O “DOWNSCALING”

- MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE REGIONALIZACIÓN SE OBTIENE INFORMACIÓN CLIMÁTICA A ESCALA REGIONAL O LOCAL EN FUNCIÓN DE LOS DATOS A MAYOR ESCALA PROPORCIONADOS POR EL MODELO GLOBAL Y QUE SON RAZONABLEMENTE BIEN SIMULADOS
- ESTO SUPONE LA COMBINACIÓN DE ESTA INFORMACIÓN CON LOS EFECTOS DE LOS DETALLES FISIOGRAFICOS DE MENOR ESCALA

## TIPOS DE REGIONALIZACIÓN

- Regionalización o “downscaling dinámico”
  - Utiliza modelos climáticos de alta resolución sobre la región de interés
- Regionalización o “downscaling estadístico”
  - Utiliza relaciones estadísticas o empíricas obtenidas entre la información a gran escala y los datos locales o regionales observados, aplicando después estas relaciones a las simulaciones de gran escala de los modelos globales AOGCMs



- Los resultados que se van a presentar se han obtenido mediante regionalización estadística de proyecciones de modelos globales realizada con métodos basados en análogos.
- El procedimiento se basa en la obtención previa de análogos sinópticos de los campos simulados de presión a nivel del mar y de componentes de viento a 500 hPa.
- Los análogos se buscan en la base de datos de reanálisis del NCEP/NCAR en el periodo 1951-2005. Junto a estos se tienen los datos de precipitación y temperaturas máximas correspondientes sobre el conjunto de observatorios a los que se va aplicar la regionalización.



- Para la estimación de temperaturas, en el conjunto de análogos seleccionados, se escoge por el método paso a paso, un conjunto de predictores relacionados con la temperatura máxima o mínima, y se construye una ecuación de regresión con la que se estimarán los valores regionalizados de temperatura correspondientes al día simulado.



- En el caso de la precipitación se toman predictores dependiendo del tipo sinóptico y del punto de estima para así mejorar la similitud de los análogos con el día simulado.
- Como precipitación estimada se toma la media ponderada de las correspondientes a las de los análogos finalmente escogidos.



En la regionalización estadística que se presenta se han utilizado los siguientes modelos globales:

- 9 modelos del CMIP3 (AR4 IPCC)
- 6 modelos del proyecto ENSEMBLES (“stream” 1)
- 6 modelos del proyecto ensembles (“stream” 2)





Así mismo los escenarios de emisiones que se han utilizado han sido:

- 20C3M (Referencia): Todos los modelos
- SRESA1B: Todos los modelos
- SRESA2: Modelos CMIP3 y ENSEMBLES-ST1
- SRESB1: Modelos CMIP3 y ENSEMBLES-ST1
- E1: ENSEMBLES-ST2



## Periodos estudiados

- 1961-2000 (Referencia), escenario 20C3M para todos los modelos
- 2001-2100, para los diversos escenarios de emisiones

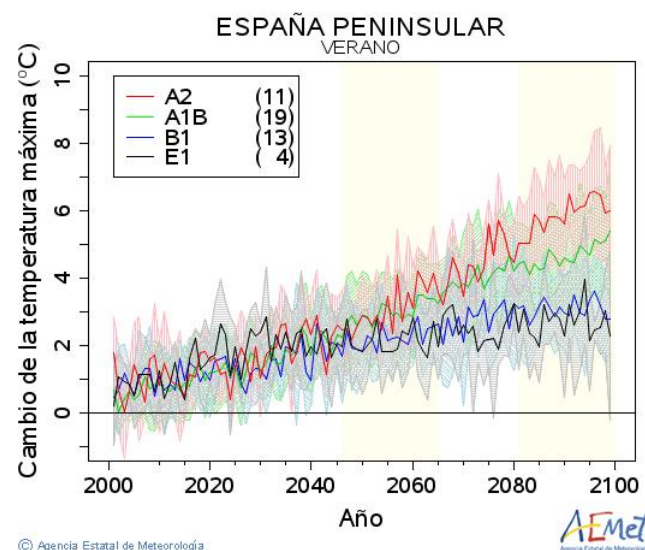
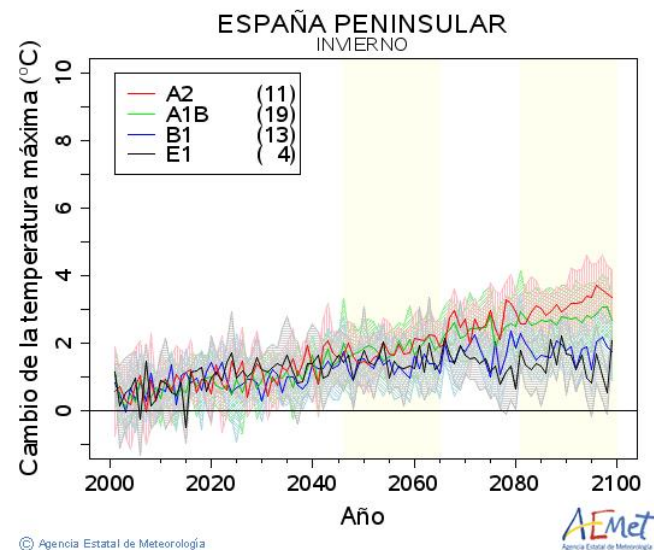
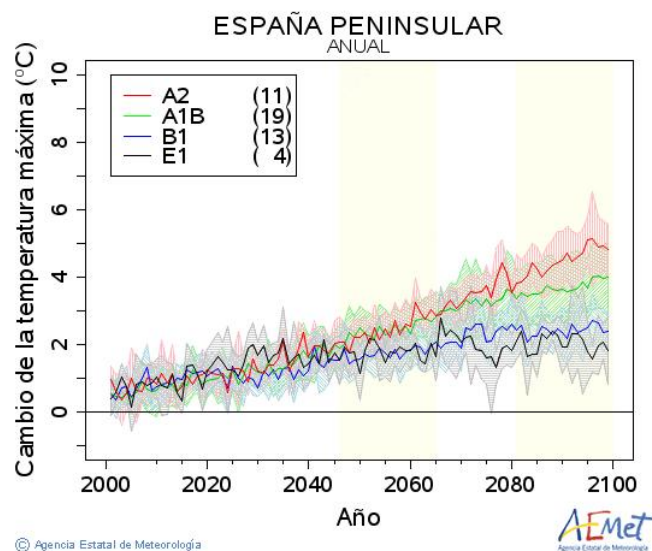


- Las variables regionalizadas son la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas
- La regionalización se ha realizado sobre 2324 puntos de observación de todo el territorio nacional para la precipitación y sobre 374 puntos de observación para las temperaturas



# RESULTADOS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS

# Evolución Temperatura Máxima 2001-2100

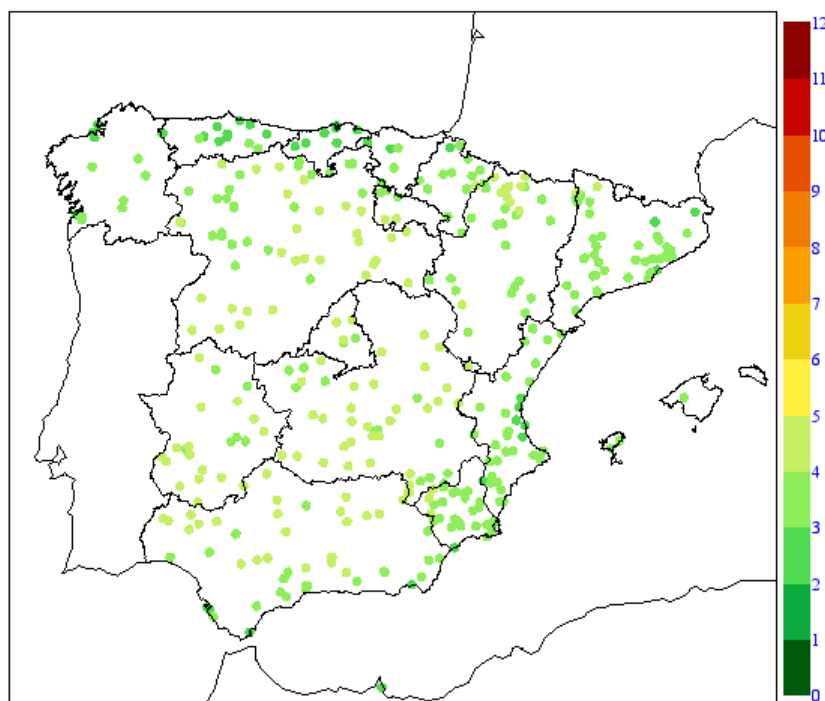


- Temperatura máxima anual 2081-2100
  - Escenario A1B

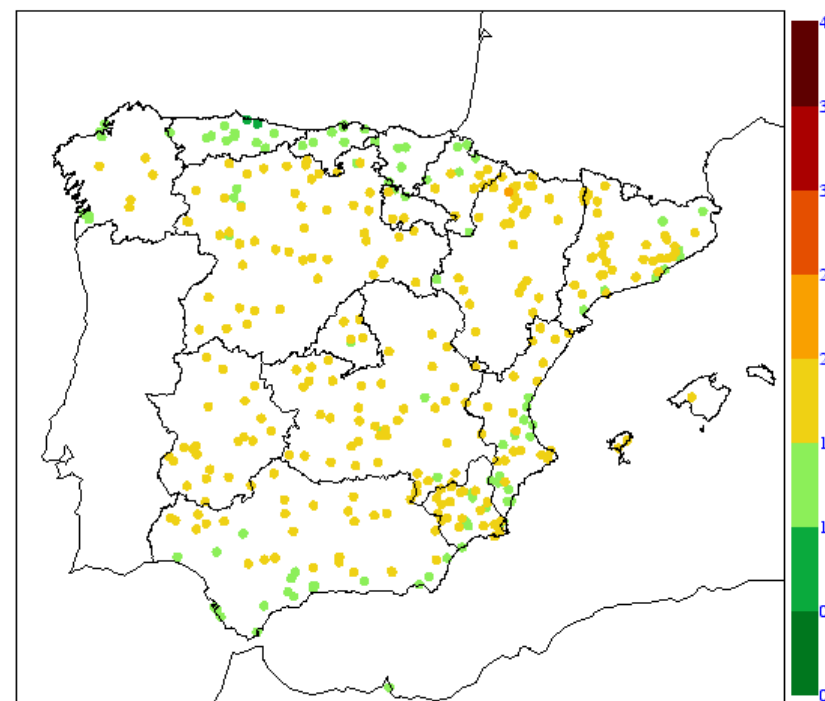
Variación respecto 1961-2000

Incertidumbre

ANNUAL MAXIMUM TEMPERATURE CHANGE (°C)  
SRESA1B 2081-2100



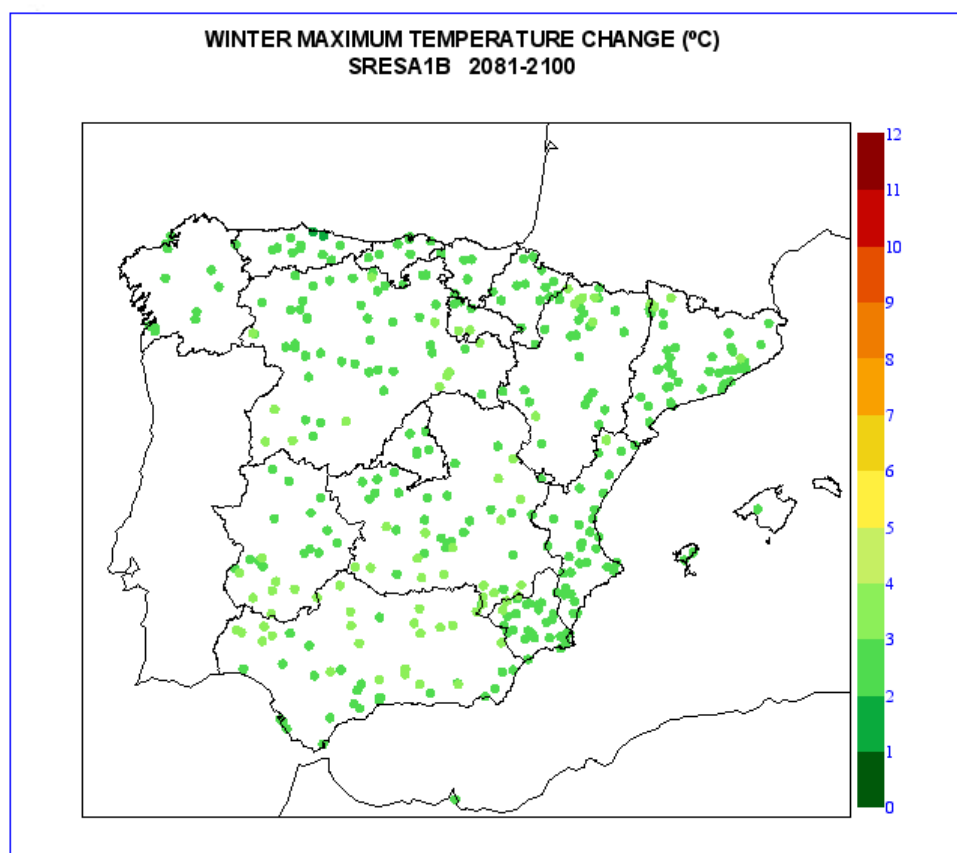
ANNUAL MAXIMUM TEMPERATURE CHANGE UNCERTAINTY (°C)  
SRESA1B 2081-2100



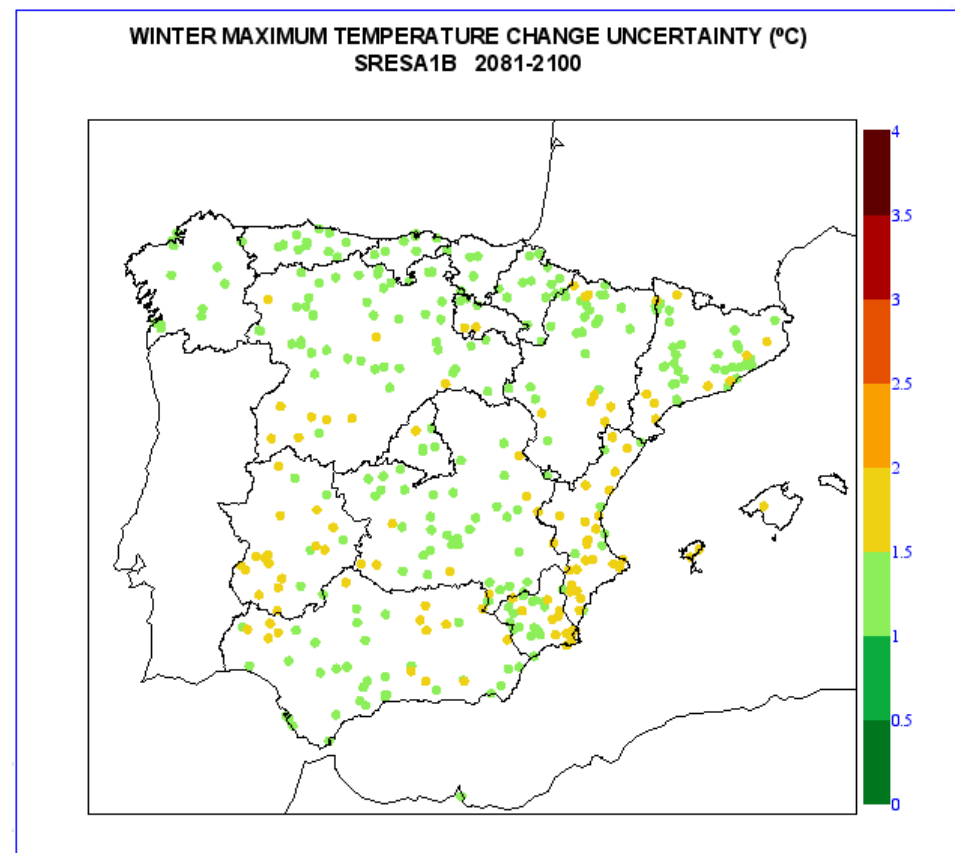


- Temperatura máxima invierno 2081-2100
  - Escenario A1B

Variación respecto 1961-2000

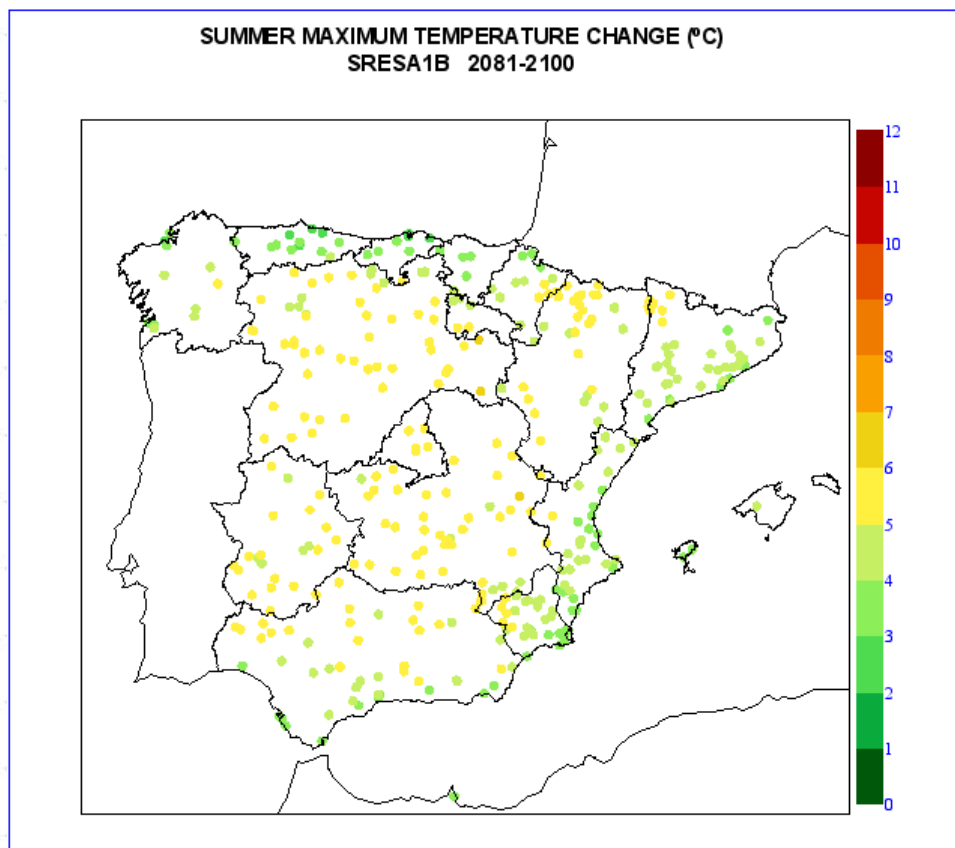


Incertidumbre

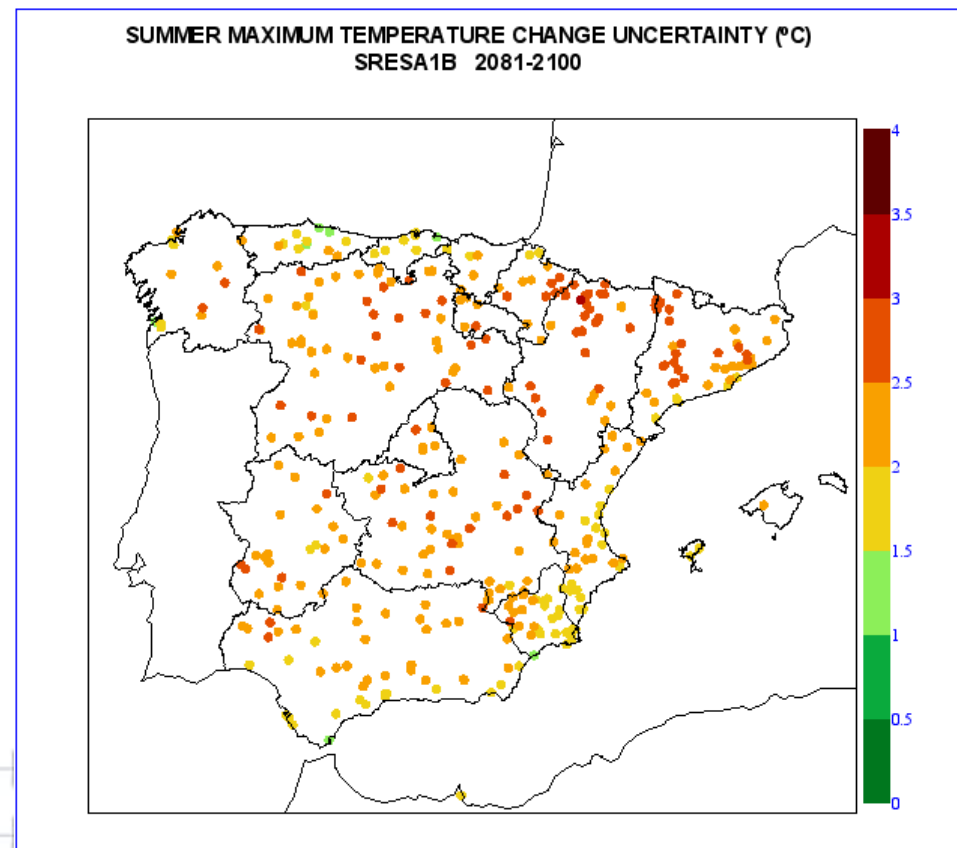


- Temperatura máxima verano 2081-2100
  - Escenario A1B

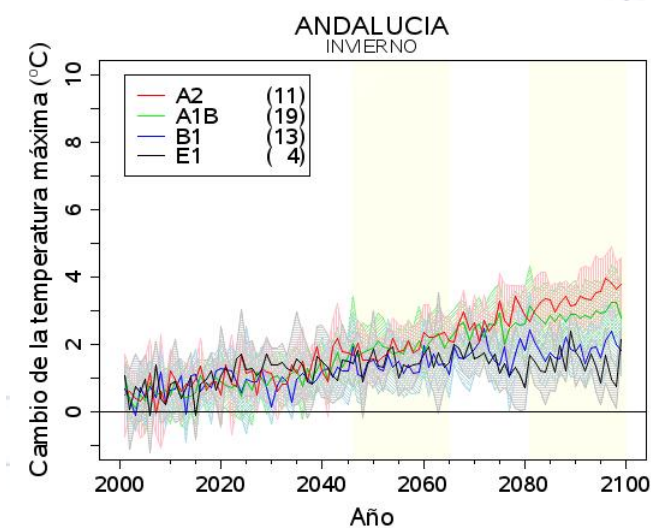
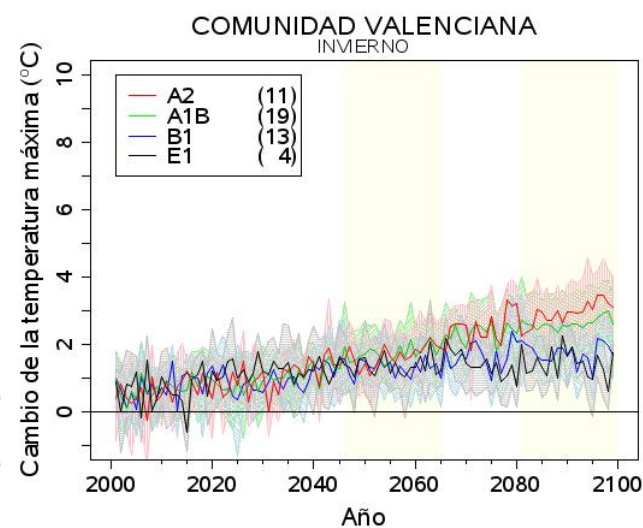
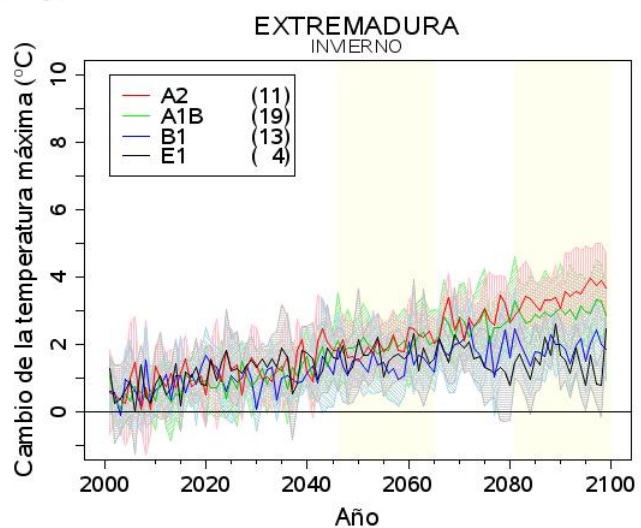
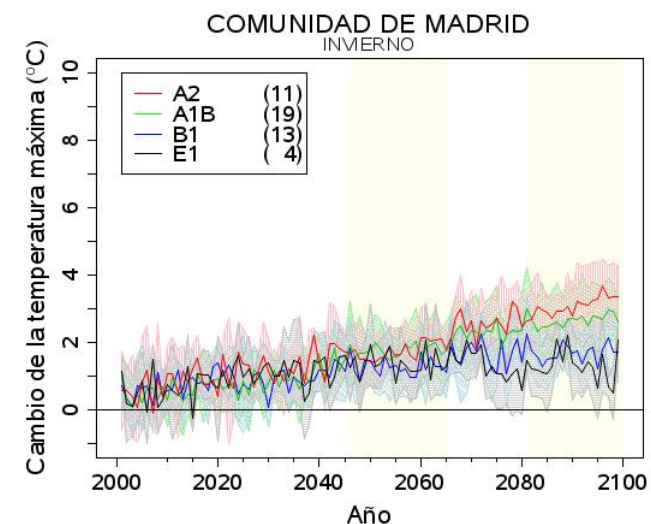
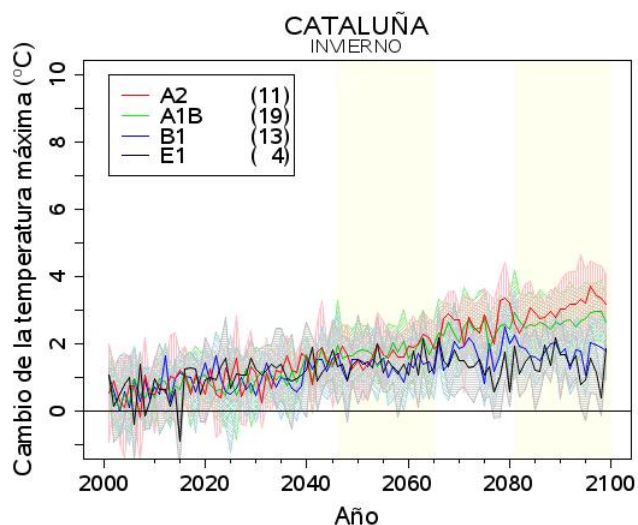
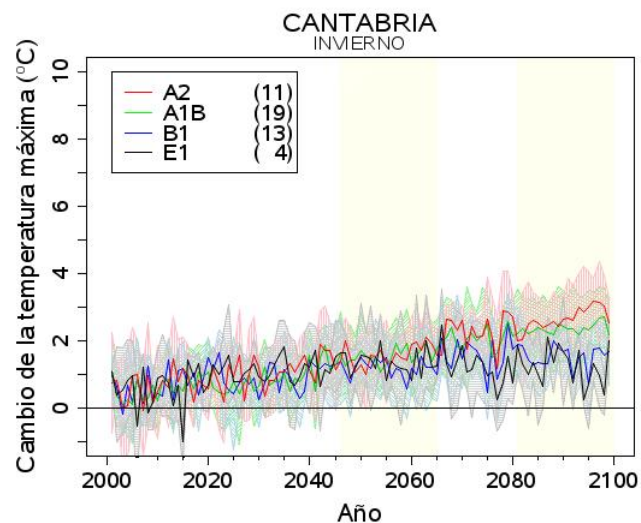
### Variación respecto 1961-2000



### Incertidumbre

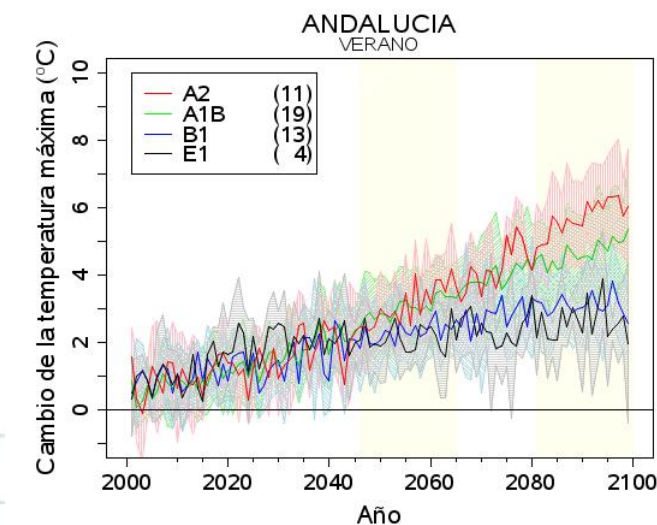
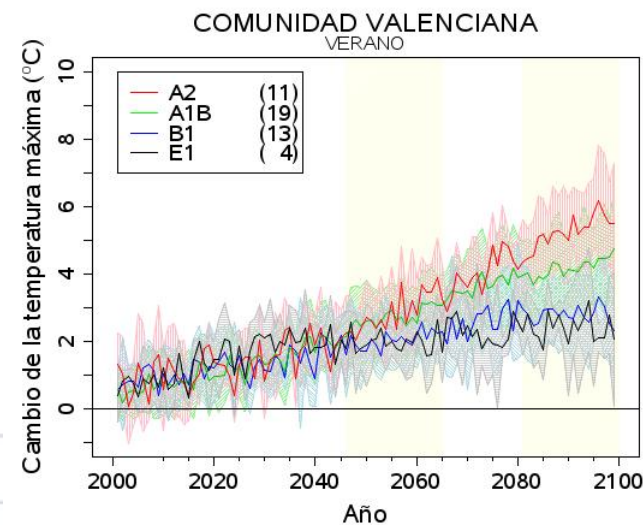
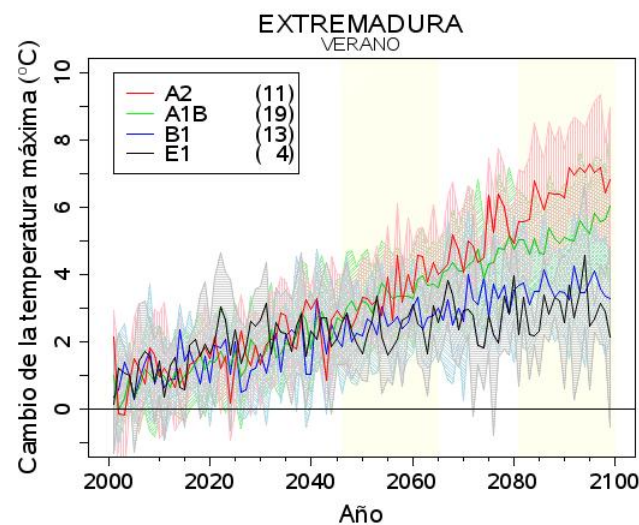
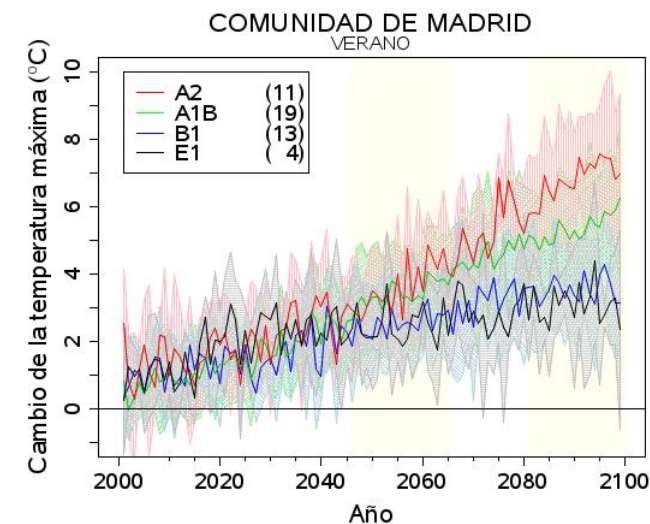
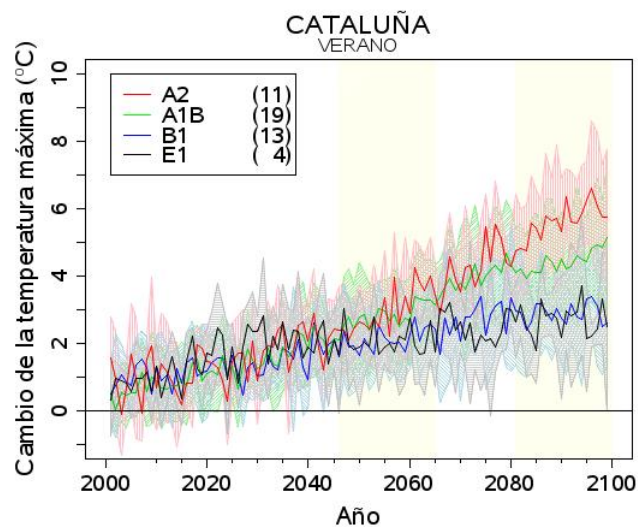
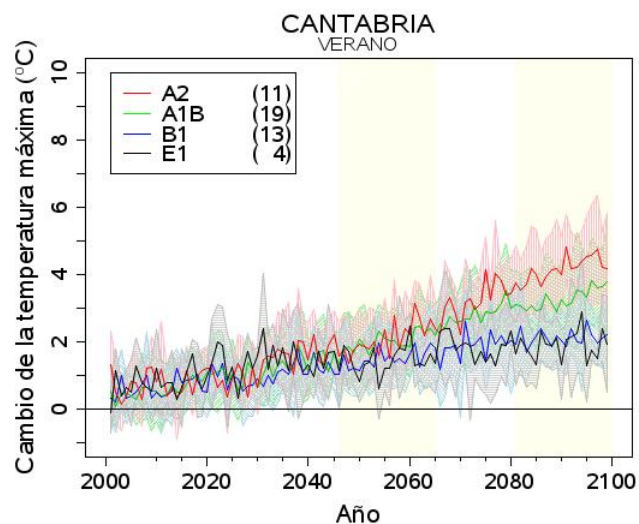


## Evolución Temperatura Máxima Invierno 2001-2100

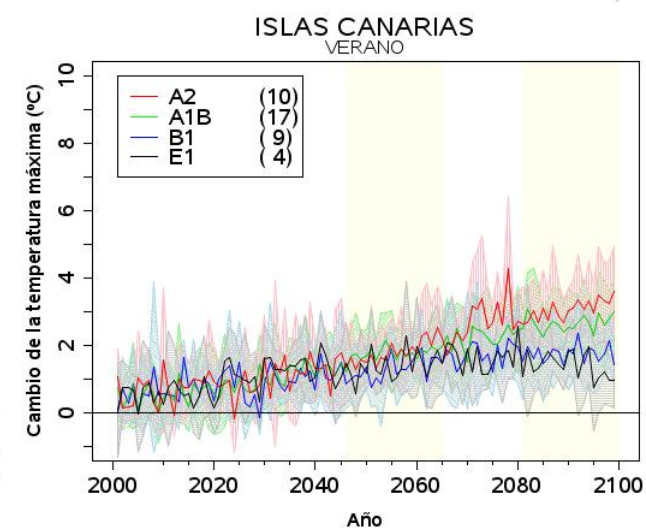
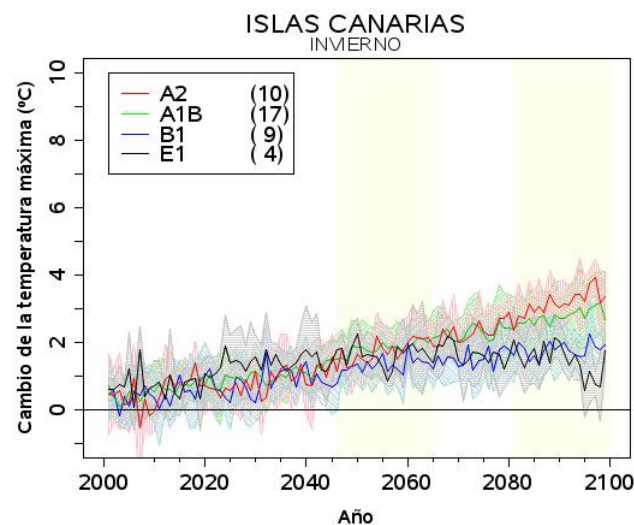
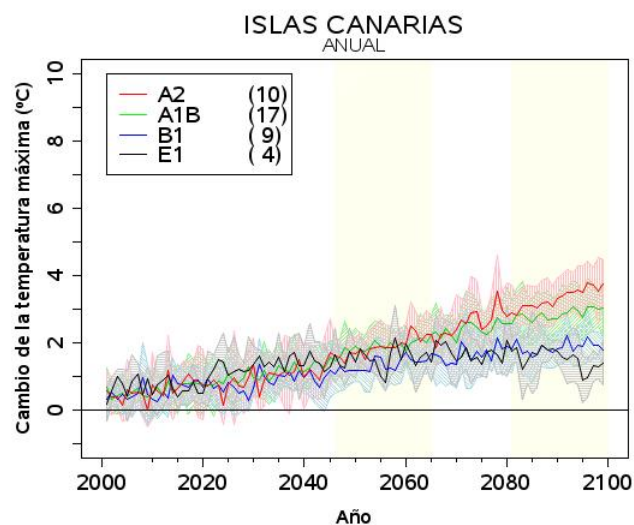
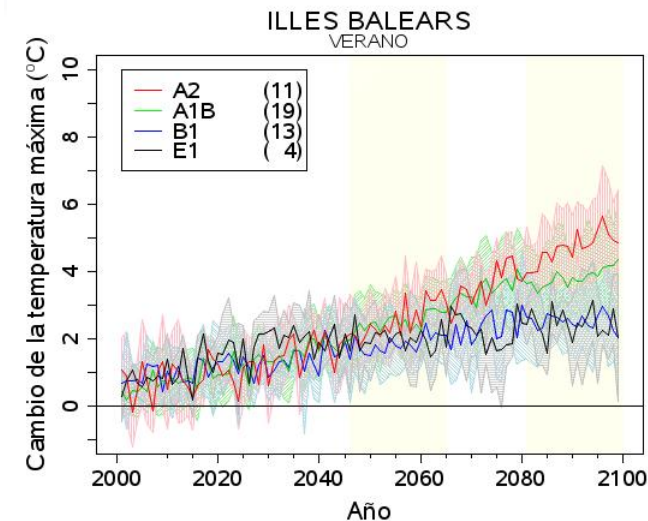
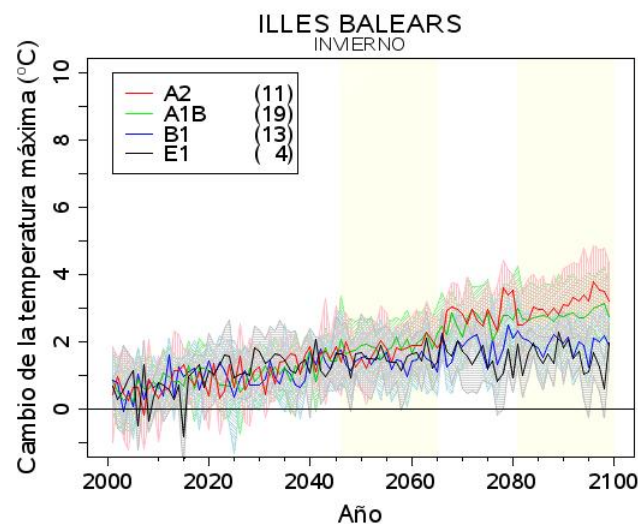
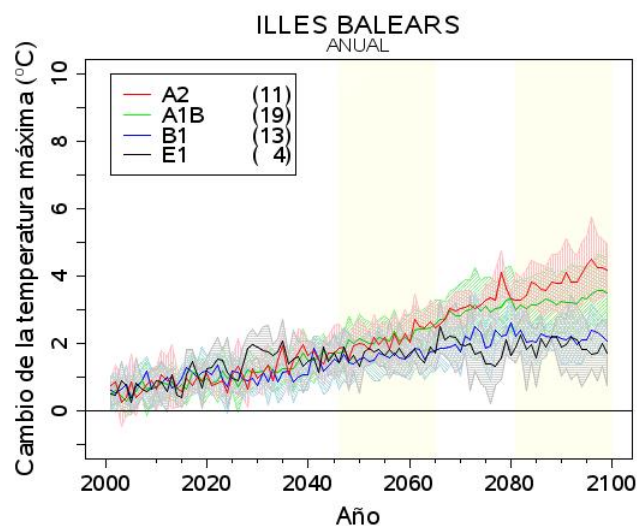




## Evolución Temperatura Máxima Verano 2001-2100



## Evolución Temperatura Máxima Islas 2001-2100



## EXTREMOS DE TEMPERATURA MÁXIMA



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

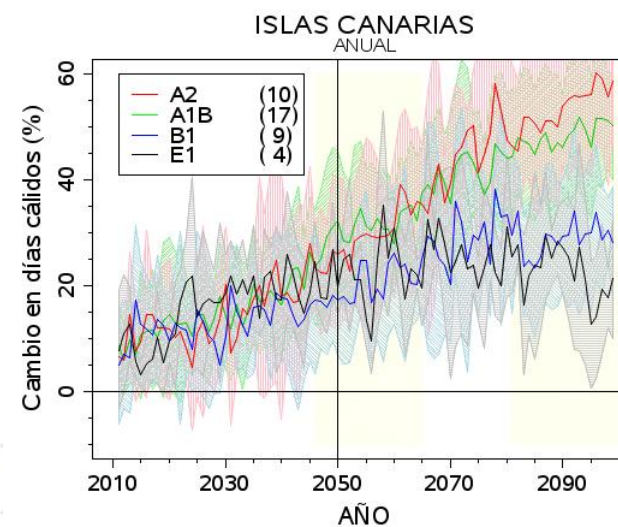
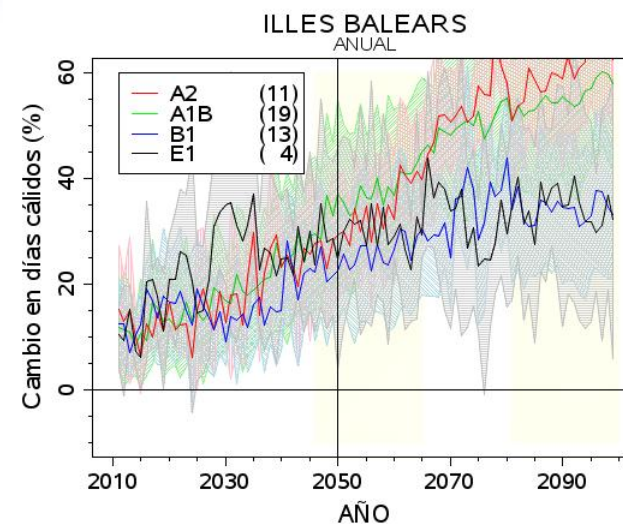
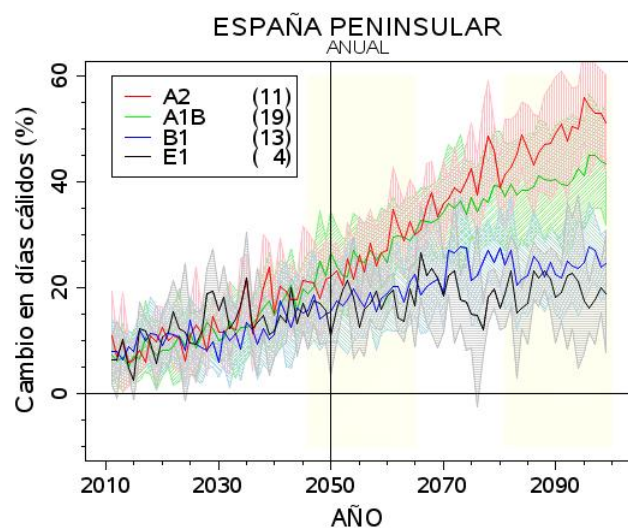
MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE  
Y MEDIO RURAL Y MARINO

**AEMet**  
Agencia Estatal de Meteorología

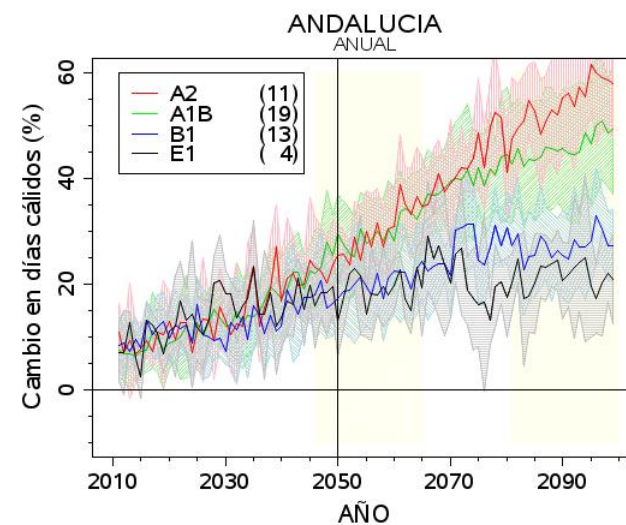
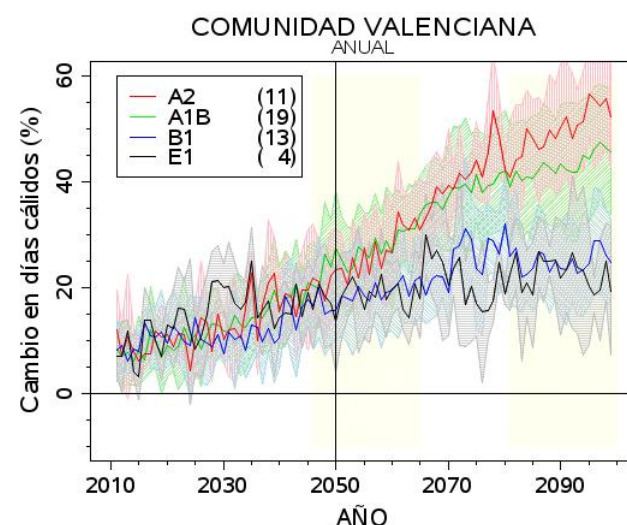
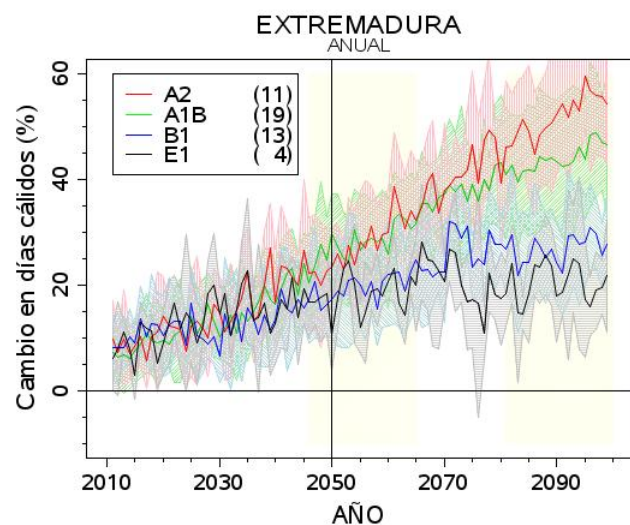
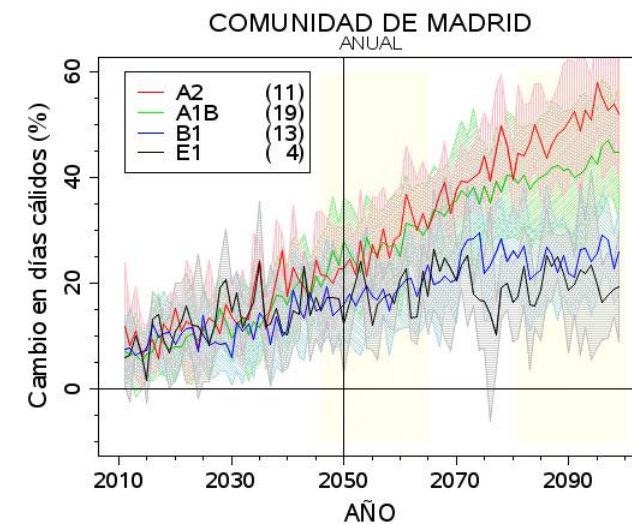
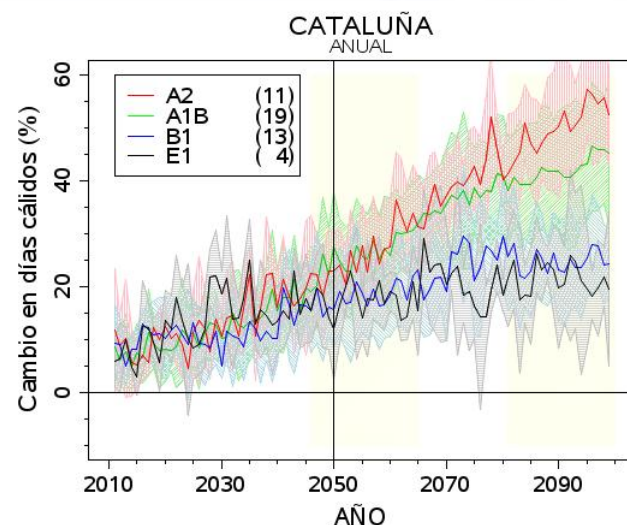
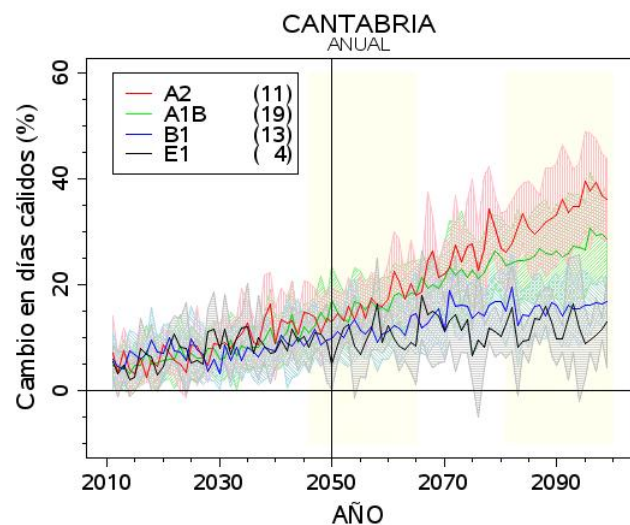
- **Nº días cálidos (DC):** nº de días con temperatura máxima superior al percentil 90 del periodo de referencia. Los cambios se expresan en porcentaje respecto al periodo de referencia.
- **Duración olas de calor (DOC):** nº de días de la ola de calor (OC) más larga, siendo una OC definida como al menos 5 días consecutivos con Tmax superior al percentil 90 del periodo de referencia. Los cambios se expresan en días respecto al periodo de referencia.



## Evolución del número de días cálidos 2001-2100

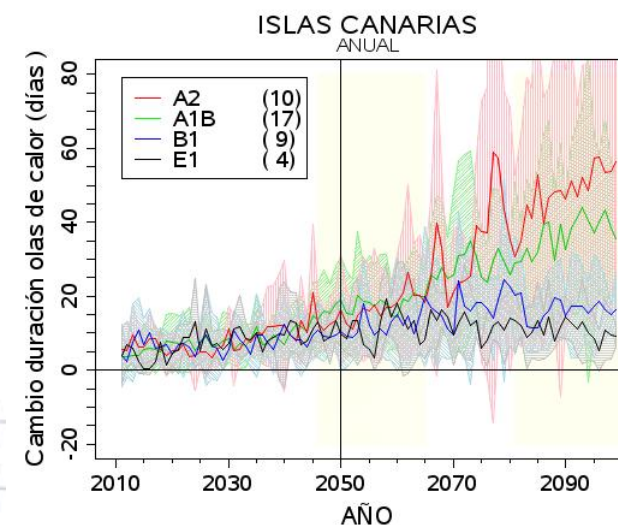
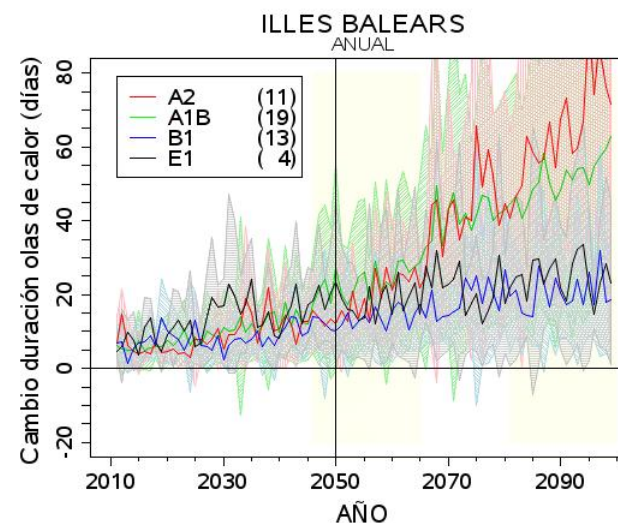
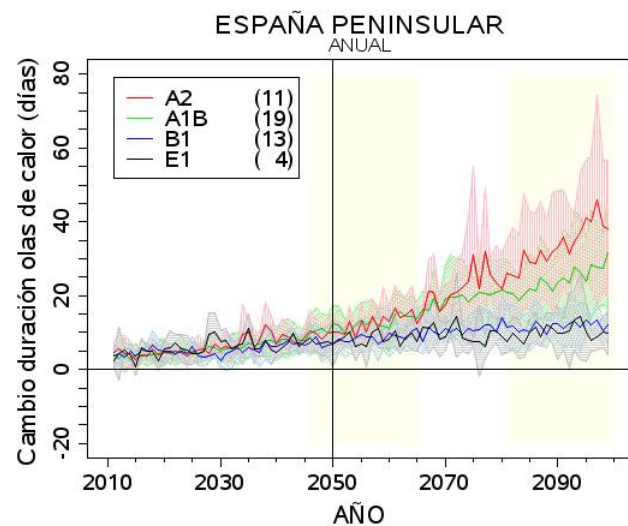


## Evolución del número anual de días cálidos 2001-2100

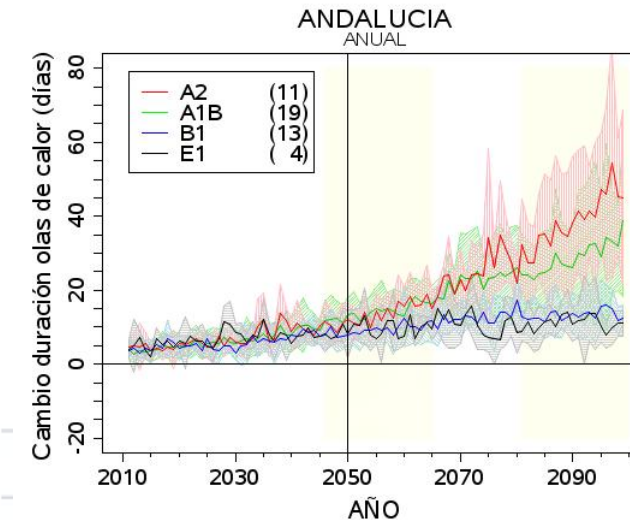
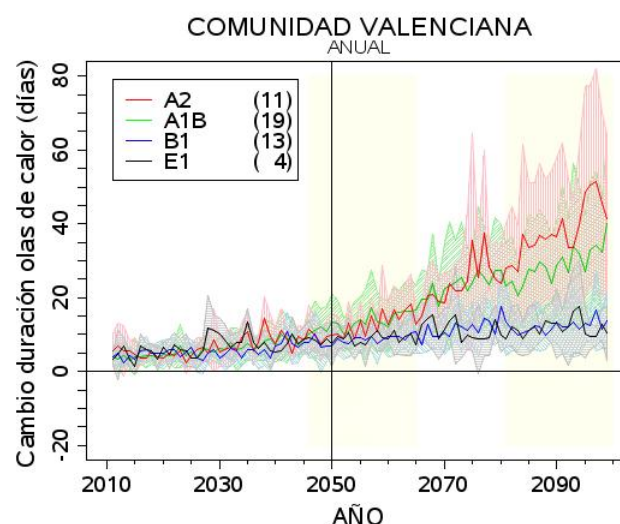
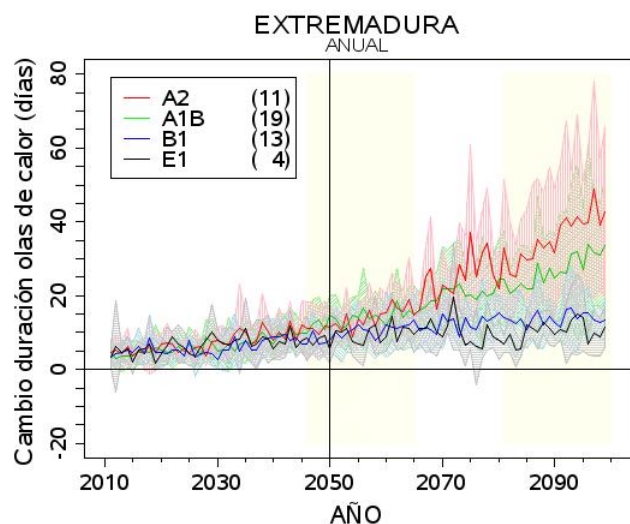
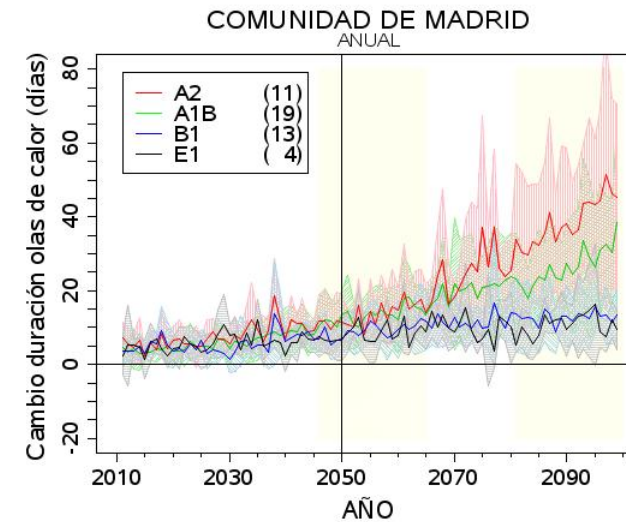
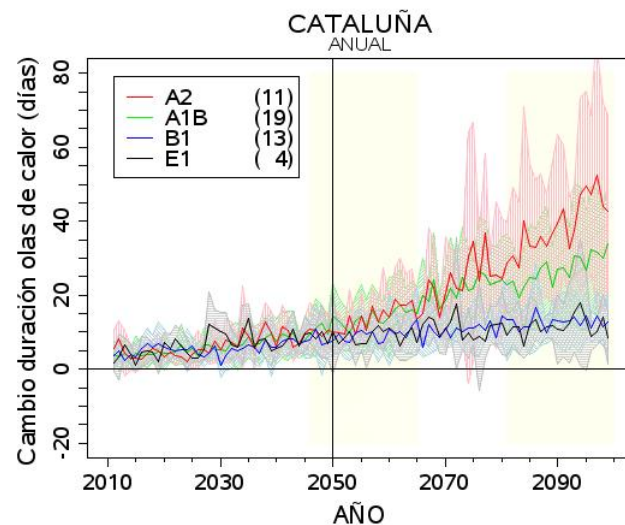
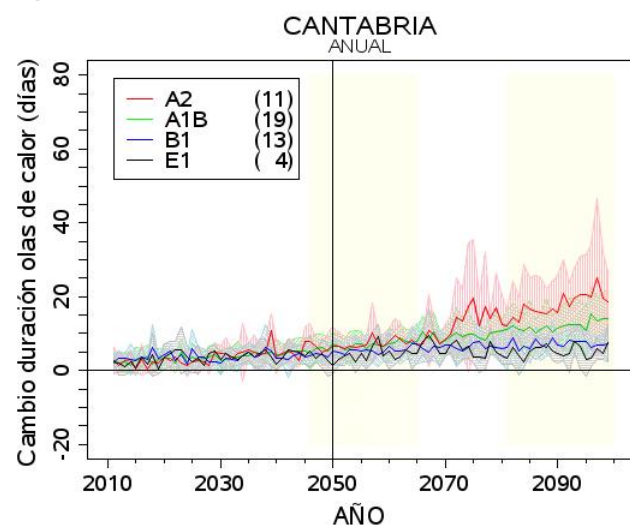




# Cambio en la Duración de Olas de Calor 2001-2100



# Cambio en la Duración de Olas de Calor 2001-2100





## CONCLUSIONES SOBRE LA TEMPERATURA MÁXIMA

- La media de las temperaturas máximas presenta un incremento que es mayor en los escenarios más emisivos (sresa2 y sresa1b) y menor en los otros dos.
- Las pautas de comportamiento regional y estacional son, salvando las diferencias de incremento entre los escenarios, bastante similares, es decir, incrementos de temperatura mayores en el interior que en las costas, mayores en verano y menores en invierno, y mayores en el periodo 2081-2100.
- En verano, las diferencias regionales son mayores que en invierno, así los incrementos de temperaturas máximas son más marcados en la mitad sur y Levante y Baleares, en Canarias el incremento es algo más moderado y regular a lo largo del año.
- La incertidumbre anual no es alta en general, sí tiende a ser mayor en el interior y en verano y especialmente en el periodo 2081-2100.





## CONCLUSIONES SOBRE EXTREMOS DE TEMPERATURA MÁXIMA

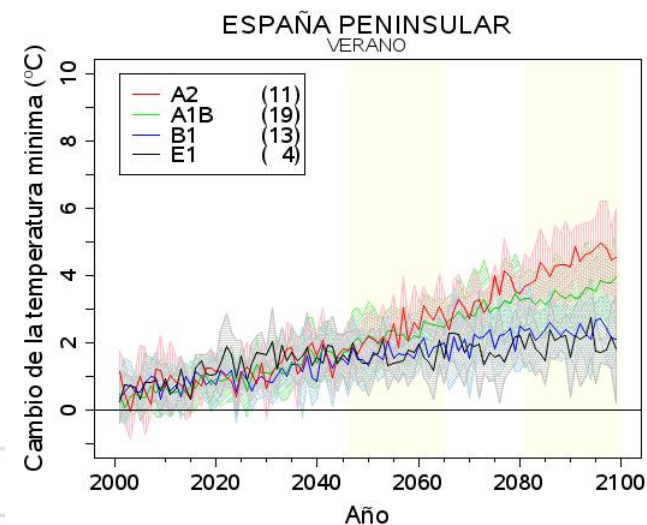
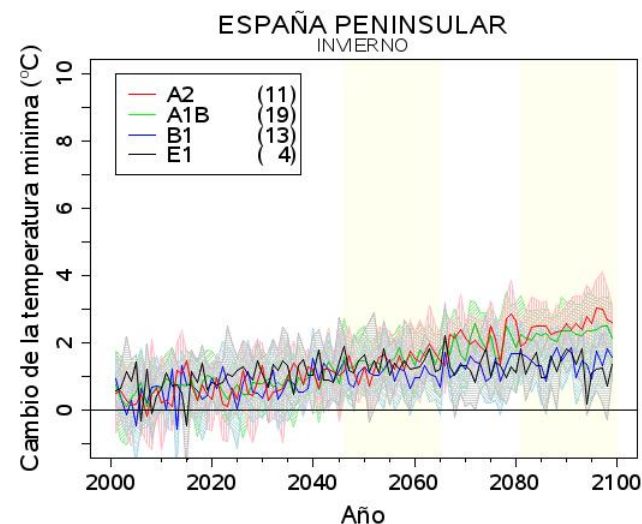
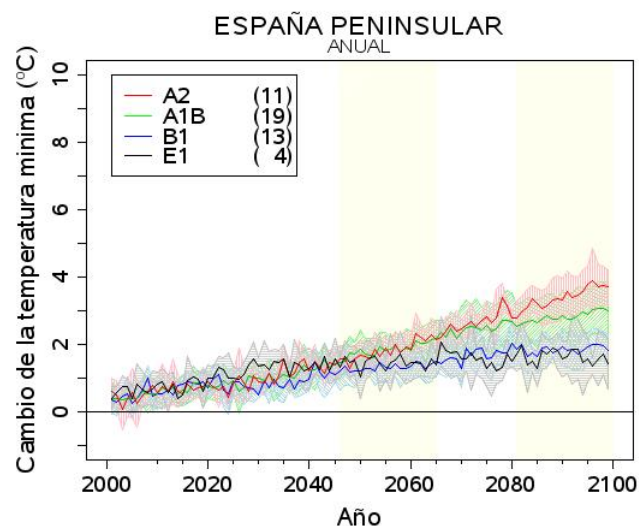
- En todo el territorio el número de días cálidos se incrementa especialmente hacia el final del siglo XXI y destacando en los escenarios más emisivos, siendo las zonas cantábricas las que menor incremento registran
- Estacionalmente este incremento es bastante acusado en verano excepto en la zona cantábrica en que es algo menor. En invierno también se registra un incremento significativo pero menor que en verano y con menores diferencias interregionales.
- En las islas se produce incremento notable, más marcadamente en las Baleares, y más moderado en Canarias
- La duración de las olas de calor se incrementa en todo el territorio, aunque algo menos en la zona cantábrica, es notable el incremento en las regiones insulares especialmente en Baleares.





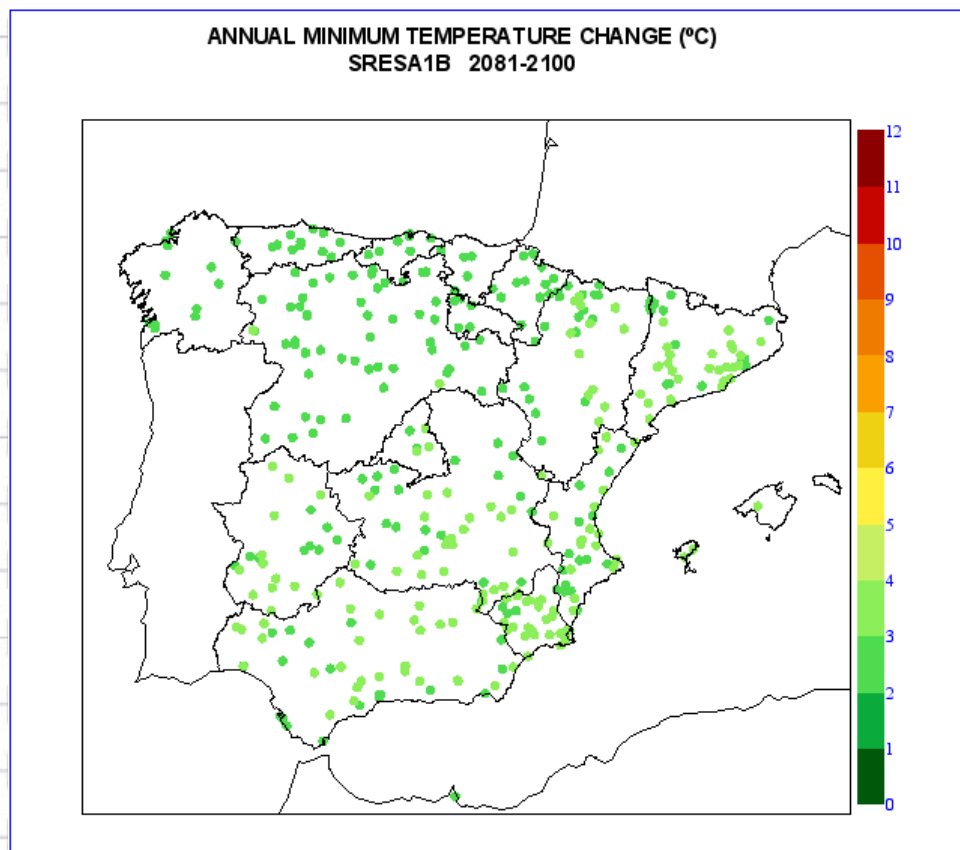
# RESULTADOS DE TEMPERATURAS MÍNIMAS

## Evolución Temperatura Mínima 2001-2100

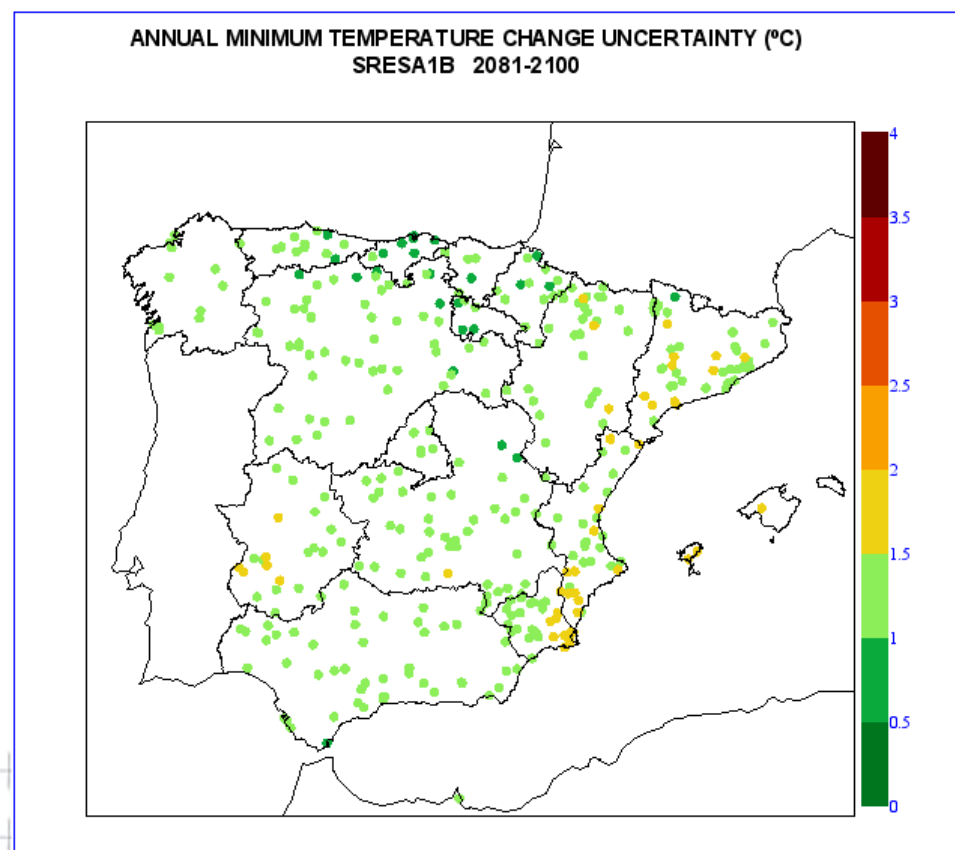


- Temperatura mínima anual 2081-2100
  - Escenario A1B

### Variación respecto 1961-2000

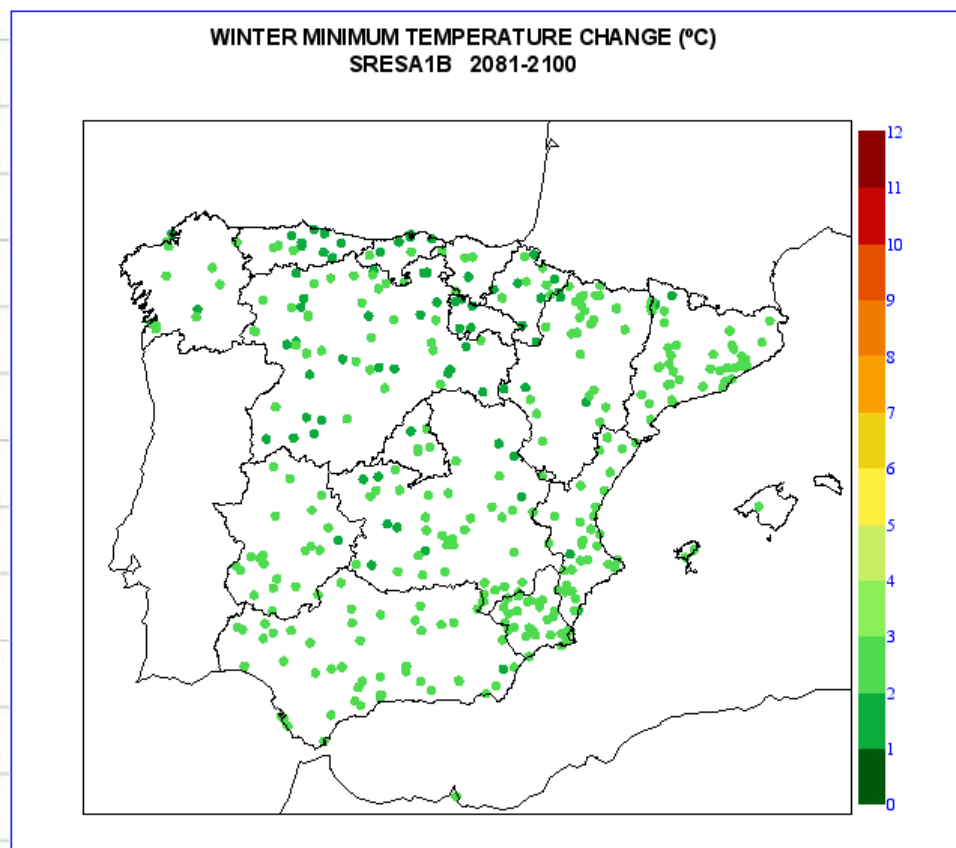


### Incertidumbre

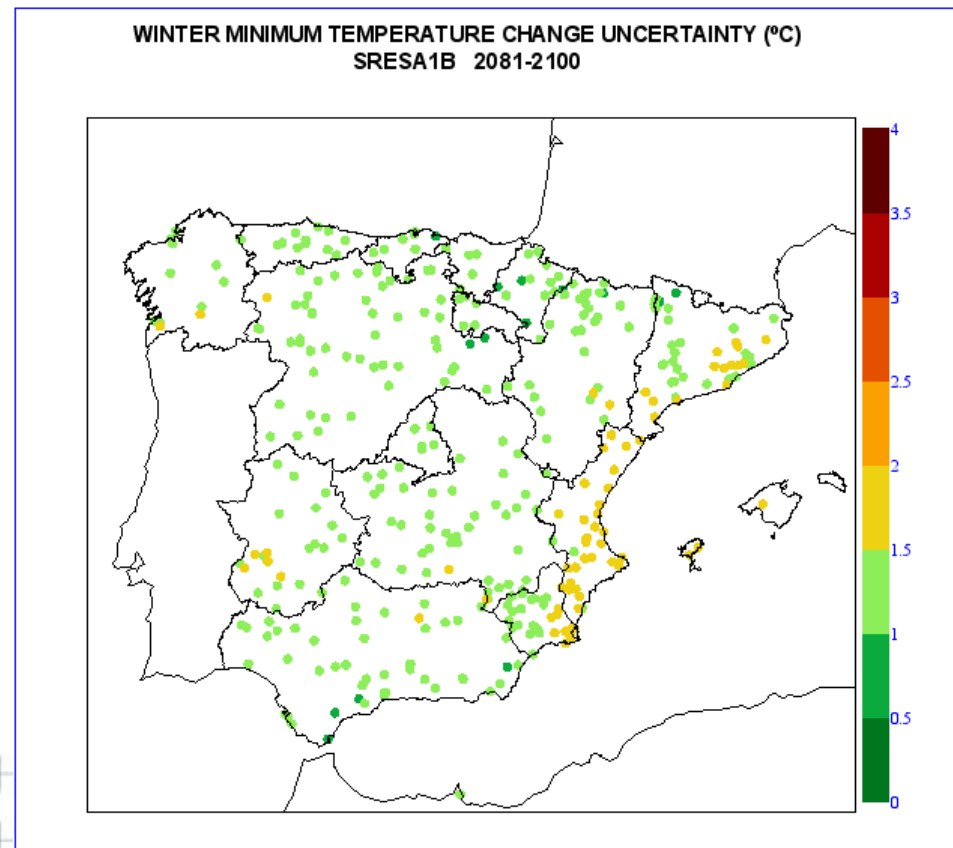


- Temperatura mínima invierno 2081-2100
  - Escenario A1B

Variación respecto 1961-2000



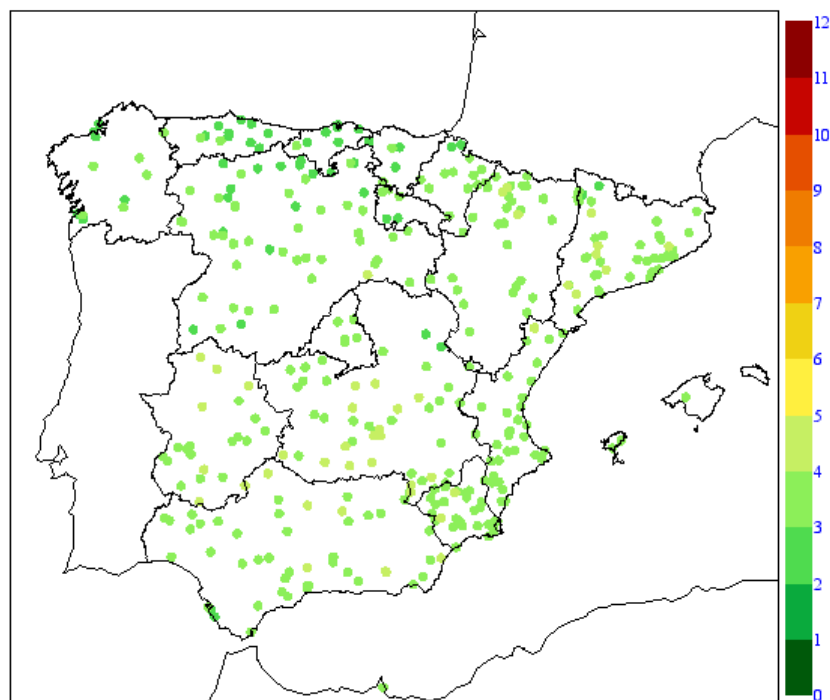
Incertidumbre



- Temperatura mínima verano 2081-2100
  - Escenario A1B

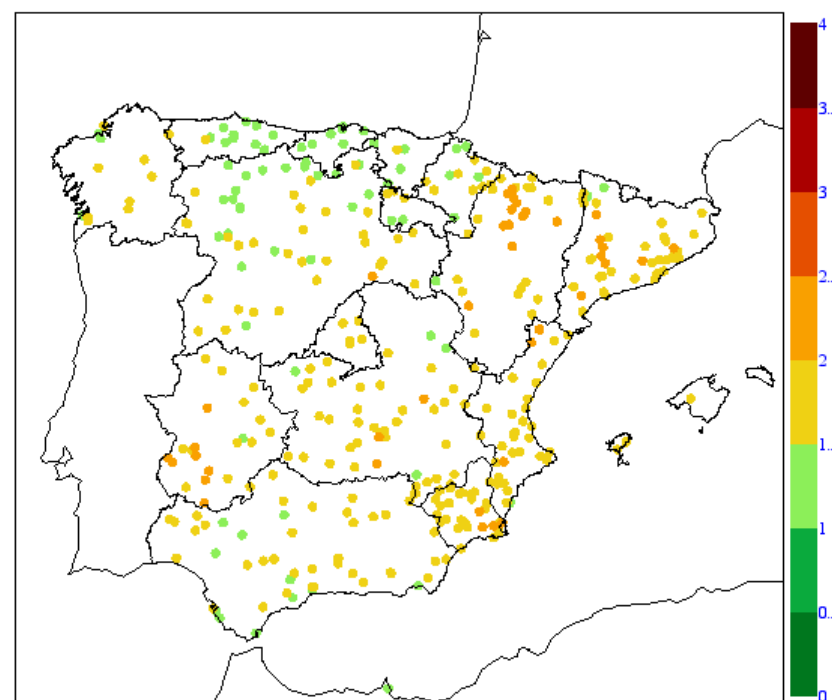
### Variación respecto 1961-2000

SUMMER MINIMUM TEMPERATURE CHANGE (°C)  
SRESA1B 2081-2100



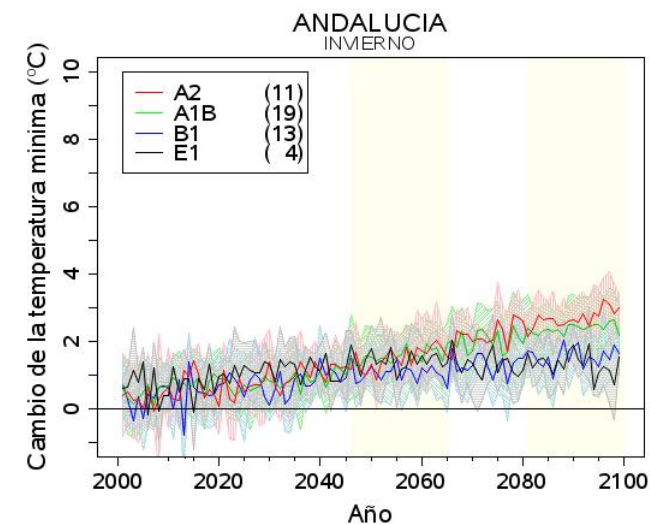
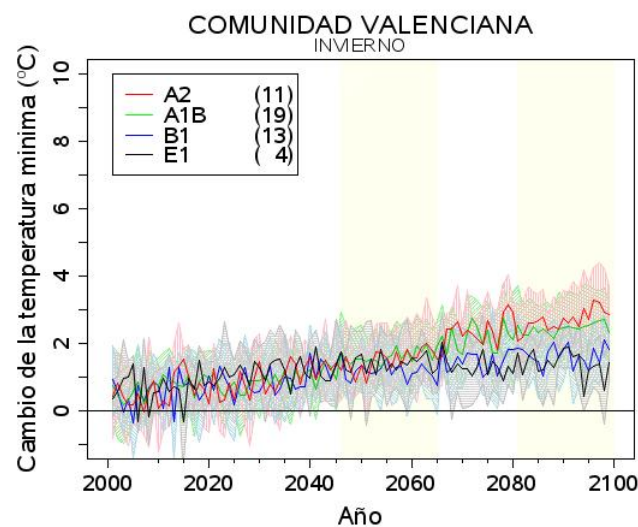
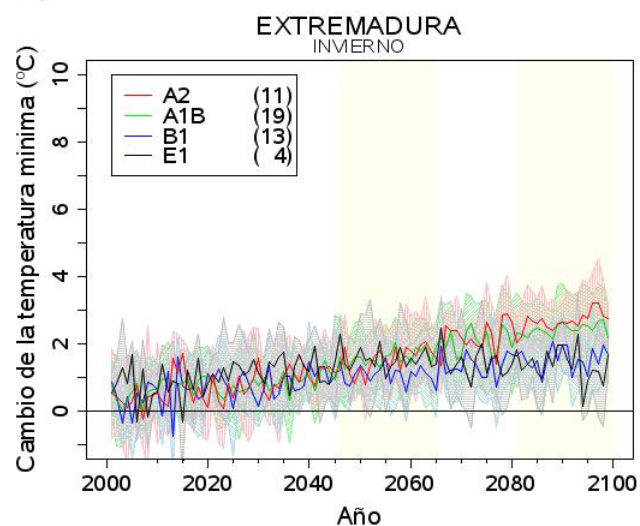
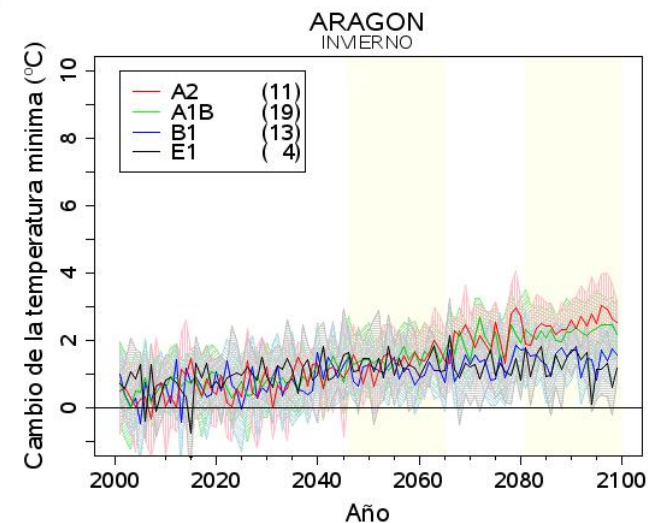
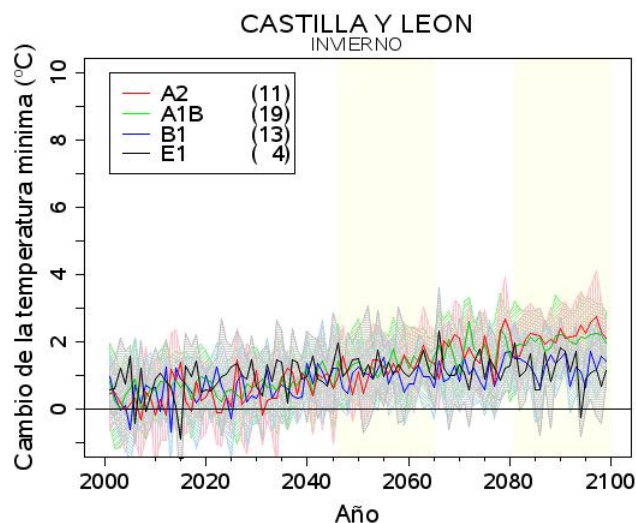
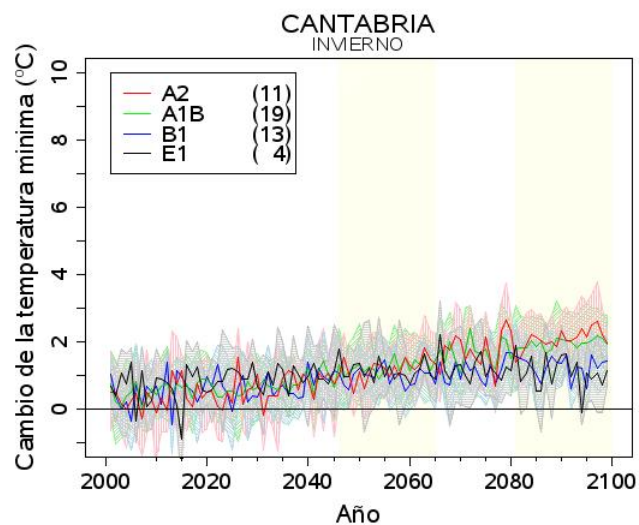
### Incertidumbre

SUMMER MINIMUM TEMPERATURE CHANGE UNCERTAINTY (°C)  
SRESA1B 2081-2100



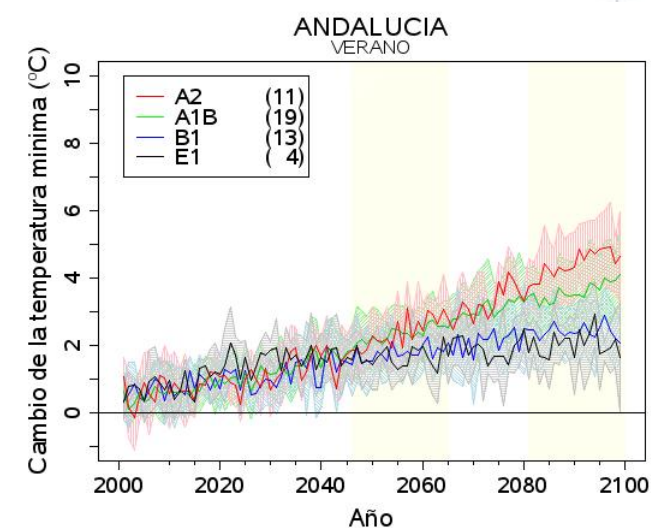
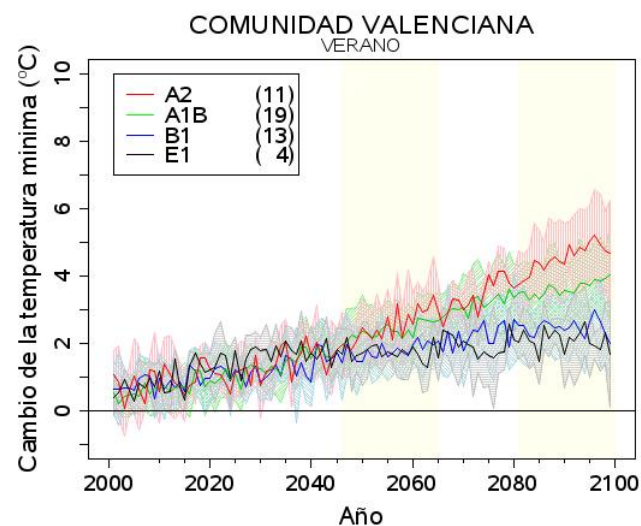
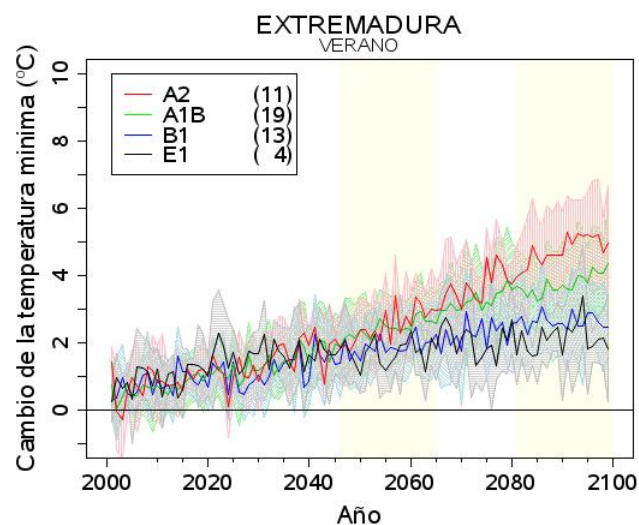
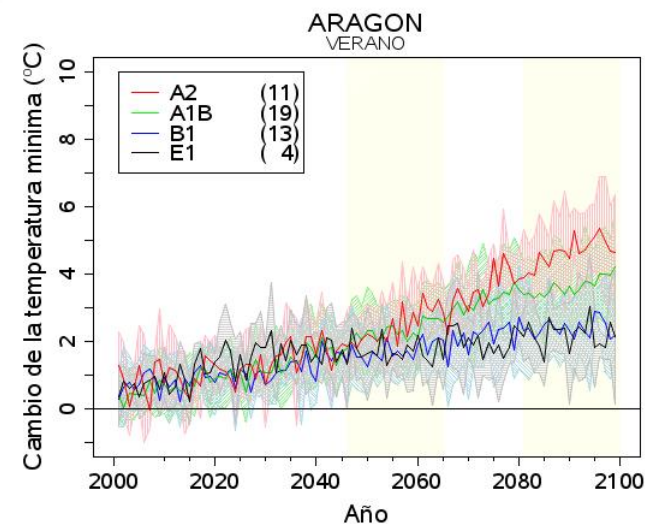
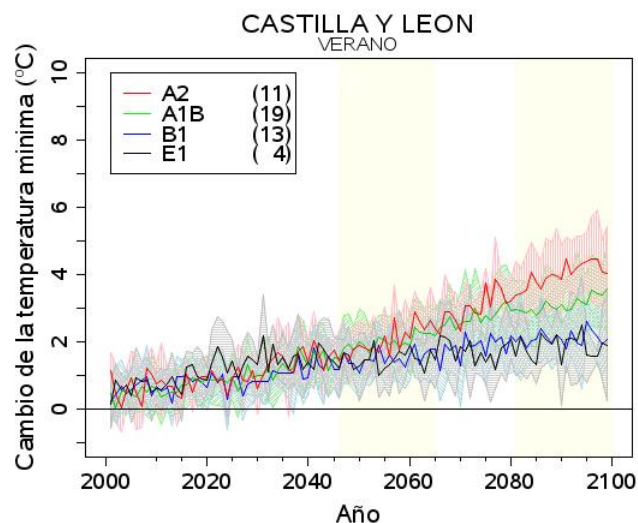
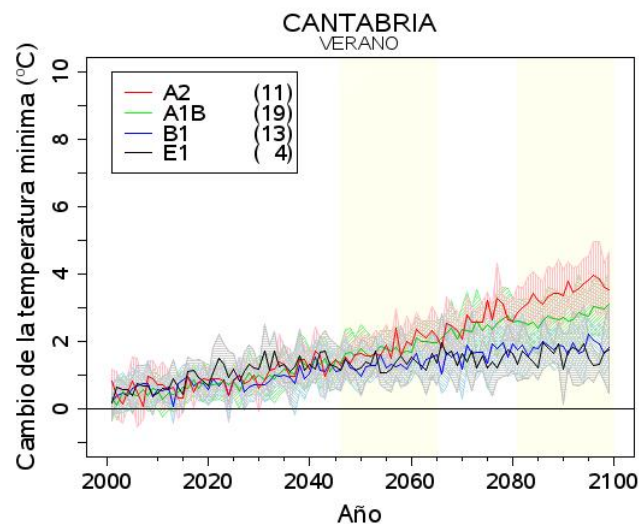


## Evolución Temperatura Mínima Invierno 2001-2100

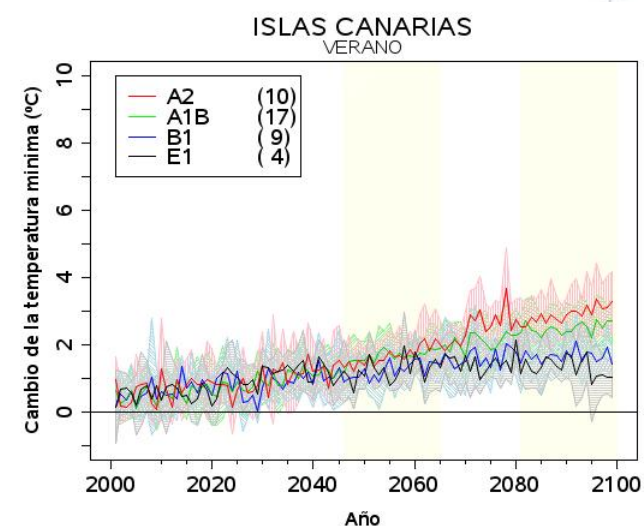
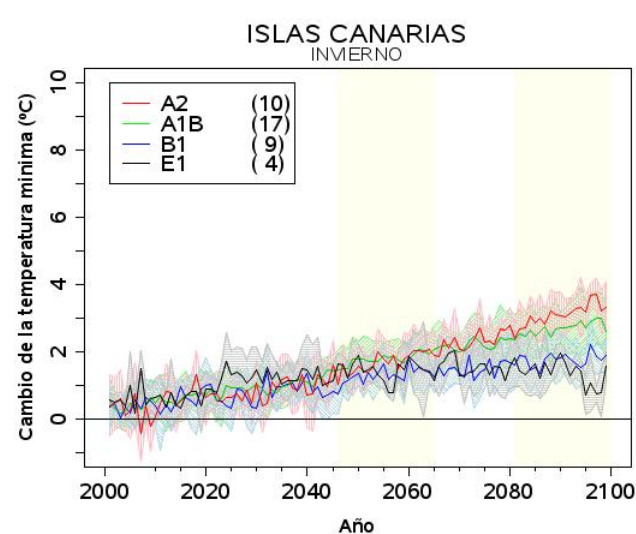
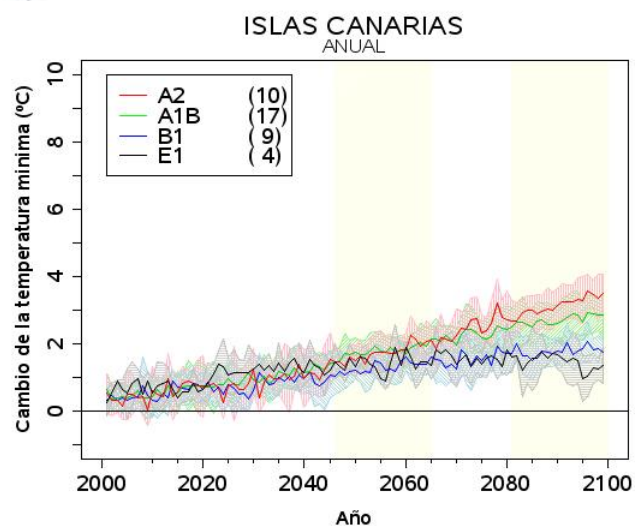
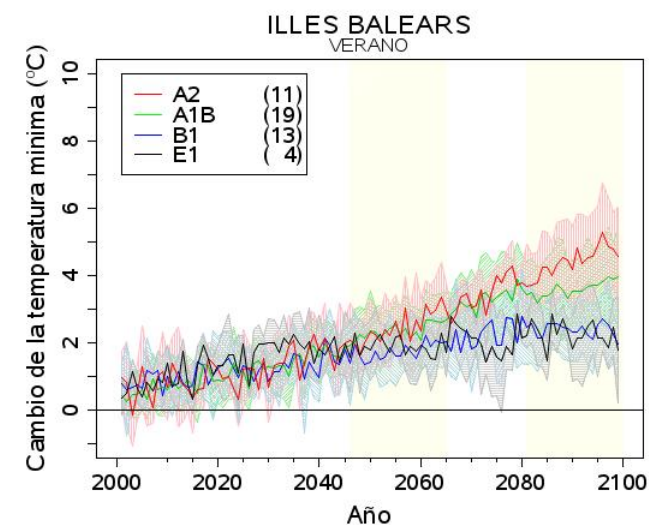
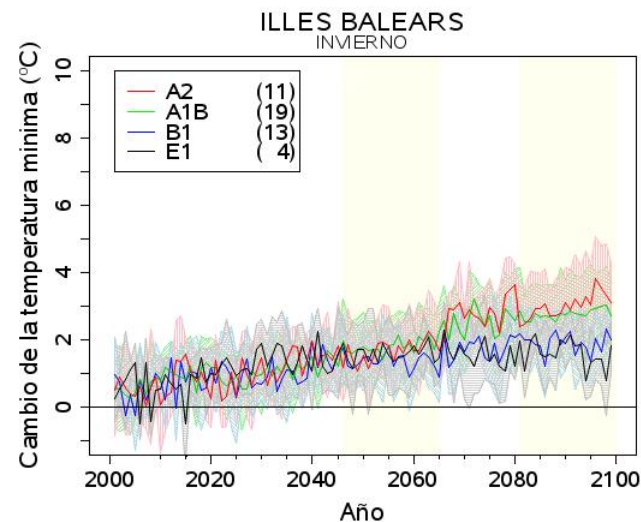
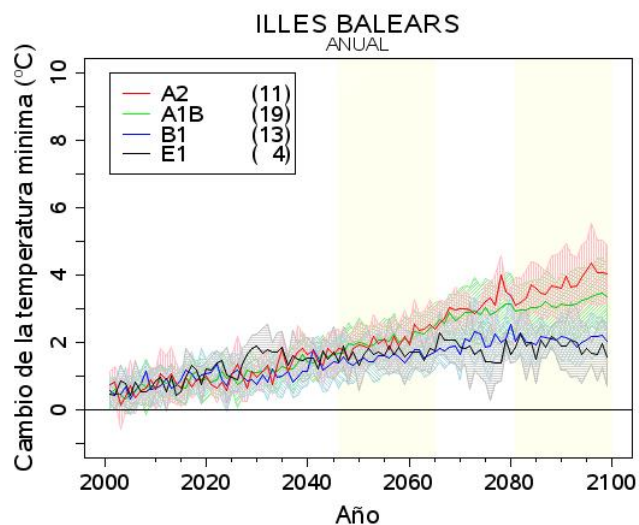




## Evolución Temperatura Mínima Verano 2001-2100



## Evolución Temperatura Mínima Islas 2001-2100



## EXTREMOS DE TEMPERATURA MÍNIMA



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

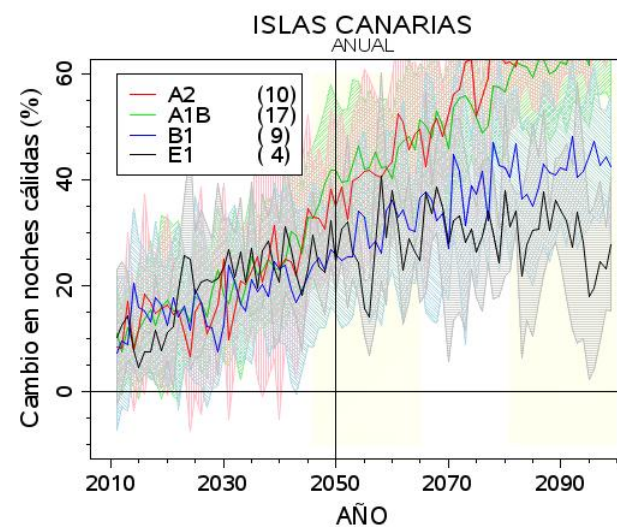
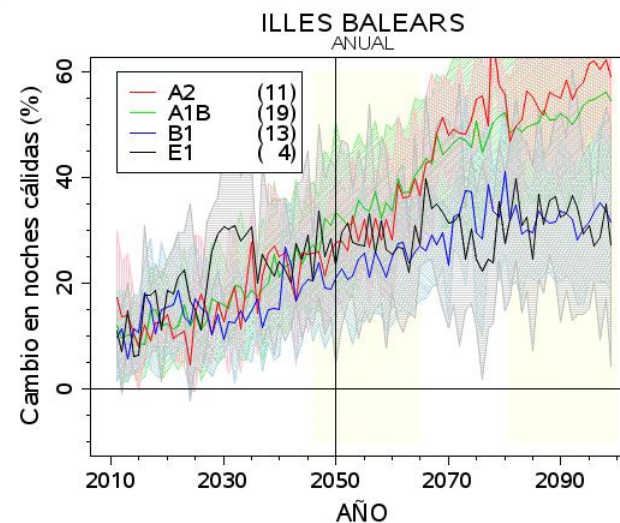
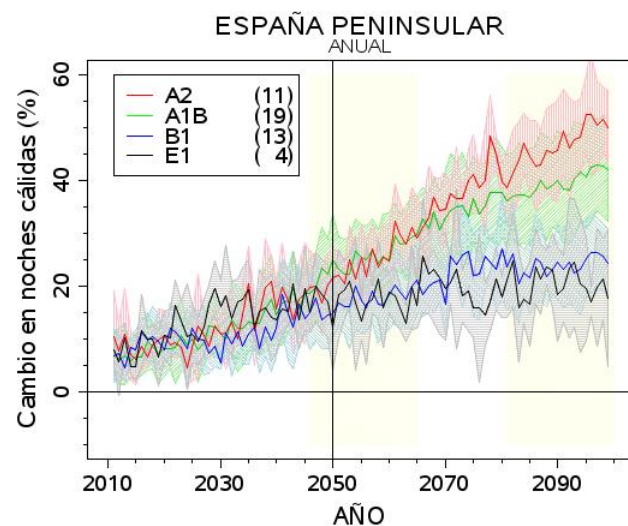
MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE  
Y MEDIO RURAL Y MARINO

**AEMet**  
Agencia Estatal de Meteorología

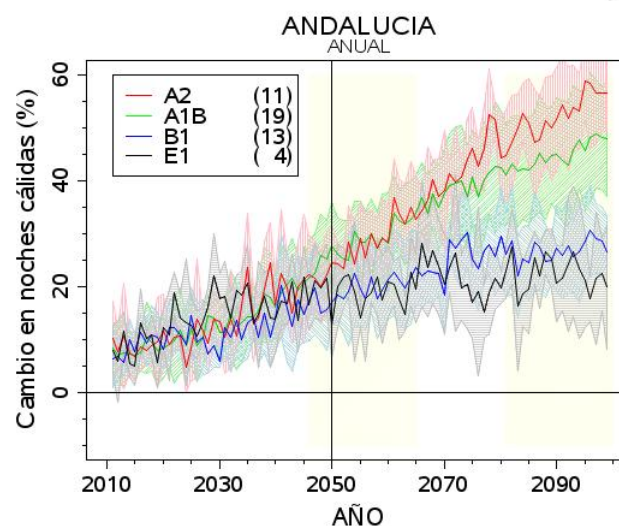
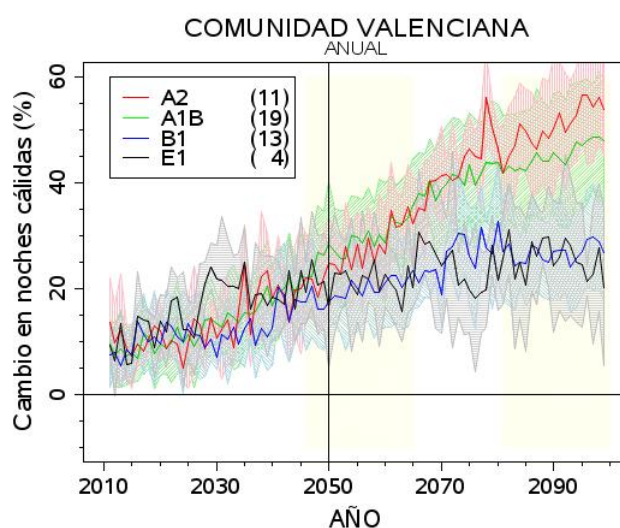
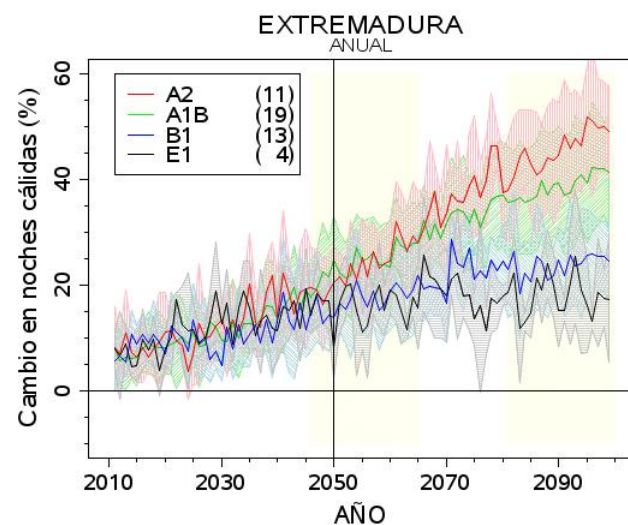
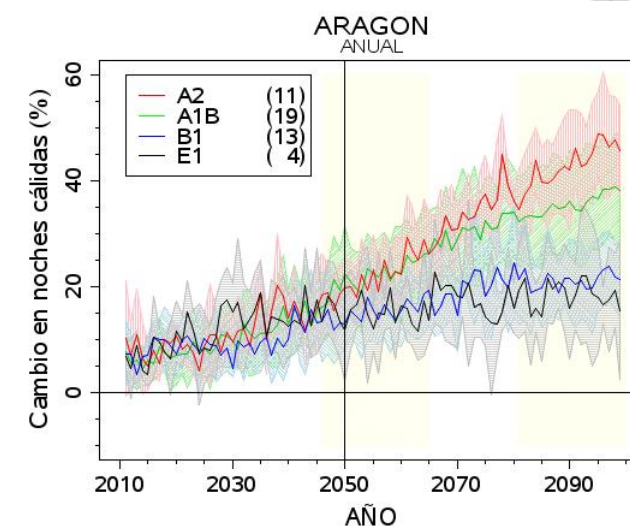
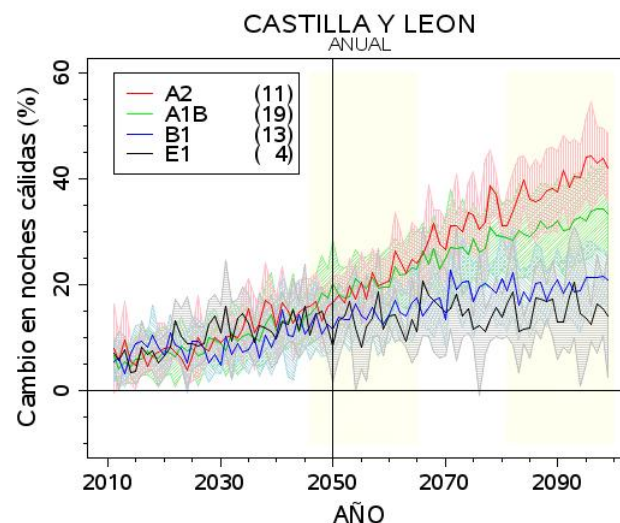
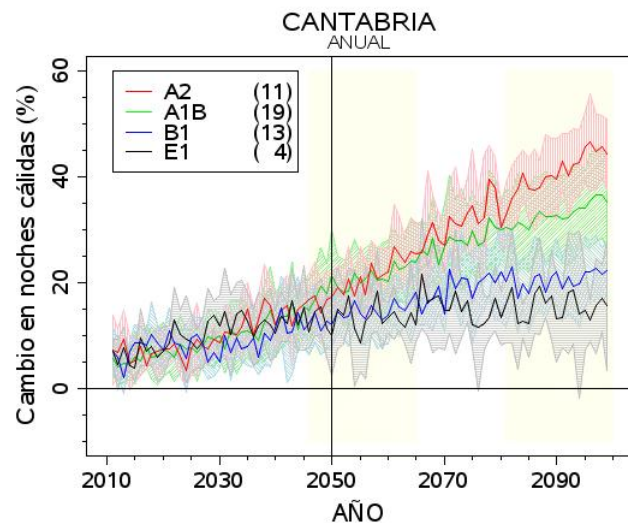
- **Nº noches cálidas (NC):** nº de noches con temperatura mínima superior al percentil 90 del periodo de referencia. Los cambios se expresan en porcentaje respecto al periodo de referencia.
- **Nº días helada (DH):** nº de días con temperatura mínima inferior a 0° C. Los cambios se expresan en días respecto al periodo de referencia.



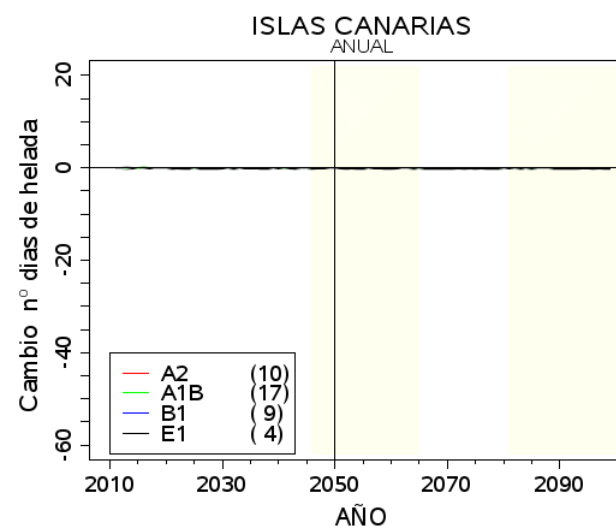
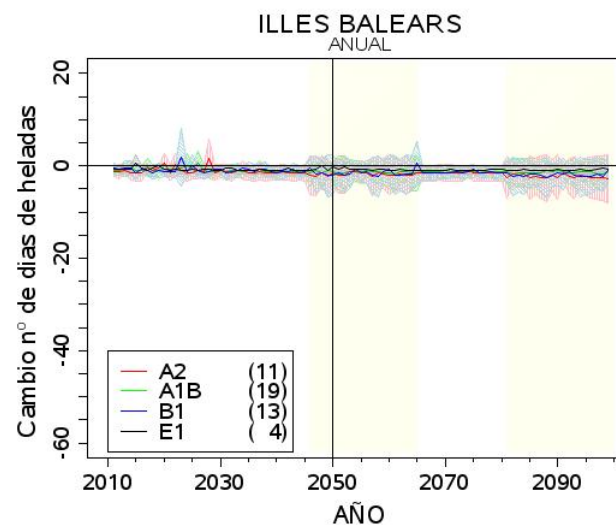
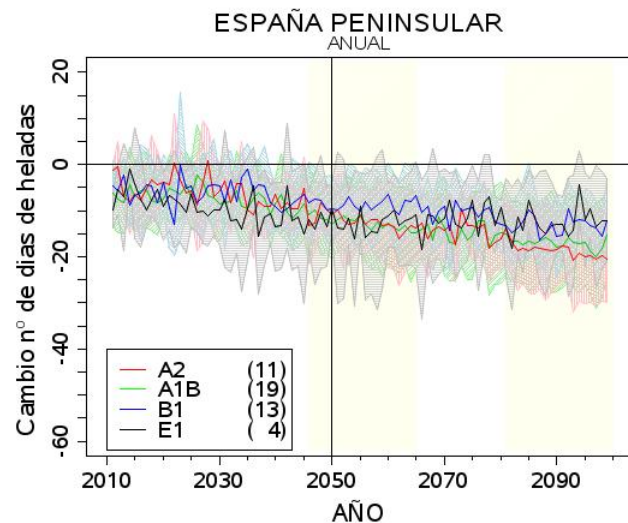
## Evolución del número de noches cálidas 2001-2100



## Evolución del número anual de noches cálidas 2001-2100

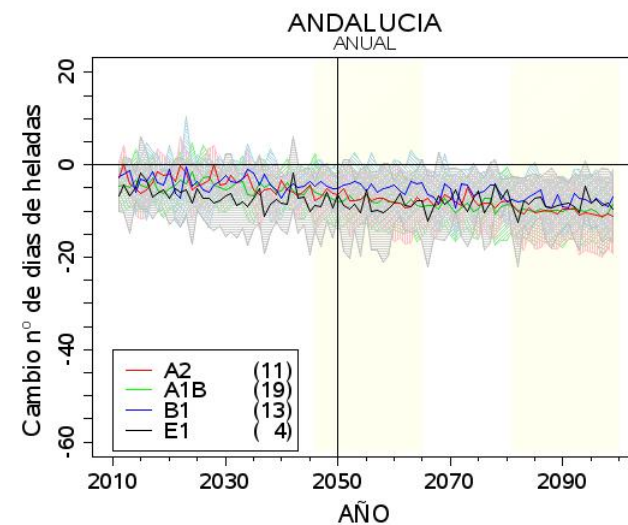
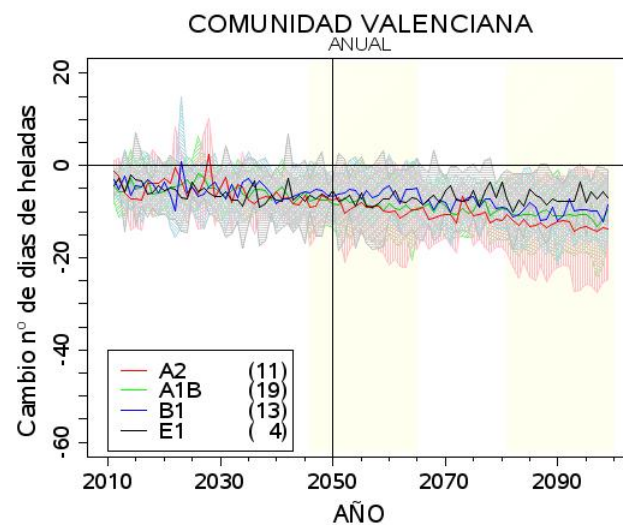
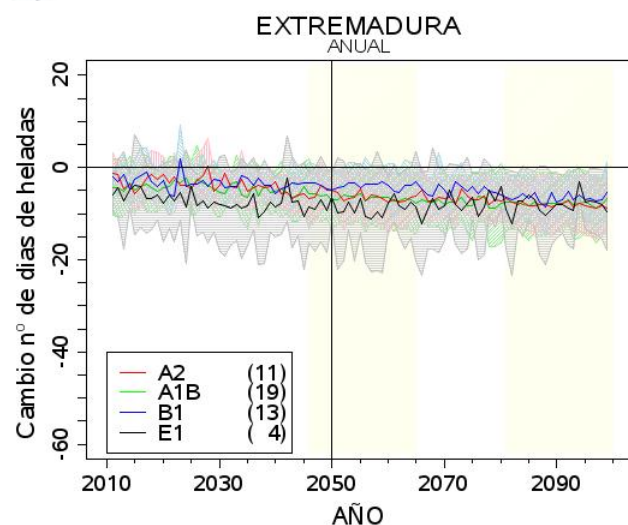
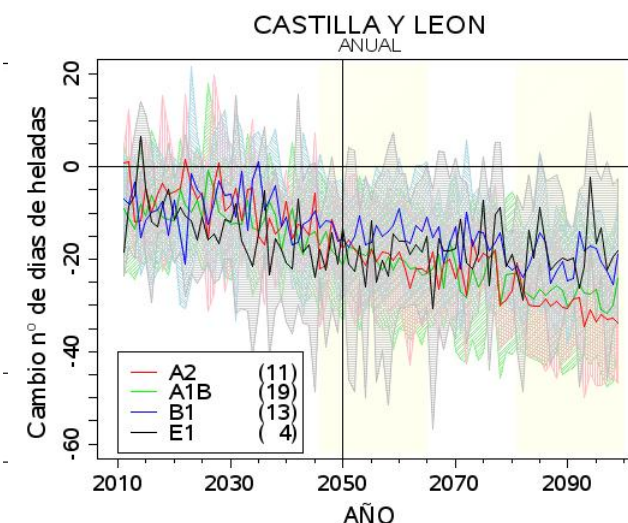
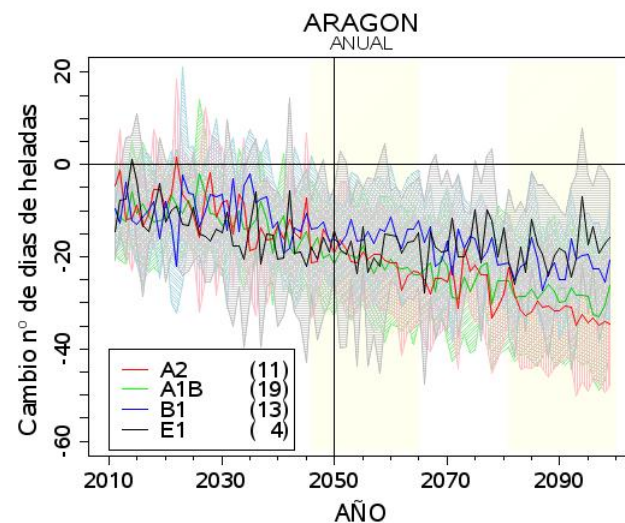
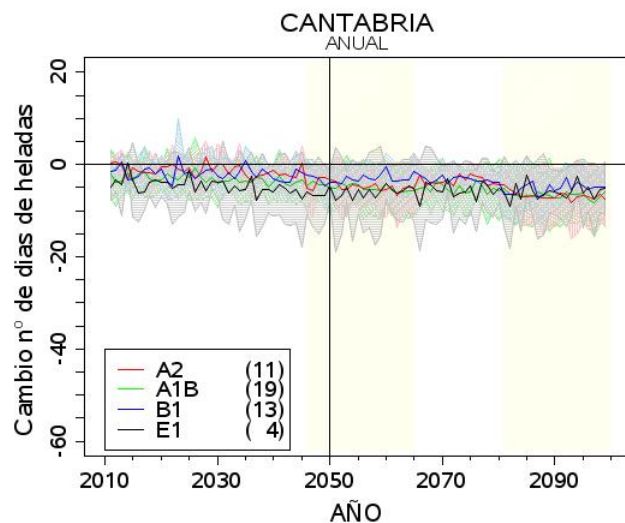


# Cambio en el número de días de helada 2001-2100





# Cambio en el número de días de helada 2001-2100





## CONCLUSIONES SOBRE LA TEMPERATURA MÍNIMA

- Se produce un incremento de temperatura, aunque menor que en el caso de las temperaturas máximas; el incremento es mayor en los escenarios más emisivos, en el periodo 2081-2100 y en verano.
- El patrón geográfico no presenta tan claramente un mayor incremento en el interior que en las costas aunque así se perfila un poco en verano
- La incertidumbre es mayor en el periodo 2081-2100 y tiende a incrementarse en el interior y en verano, siendo siempre mayor en el caso de los escenarios más emisivos.



## CONCLUSIONES SOBRE EXTREMOS DE TEMPERATURA MÍNIMA

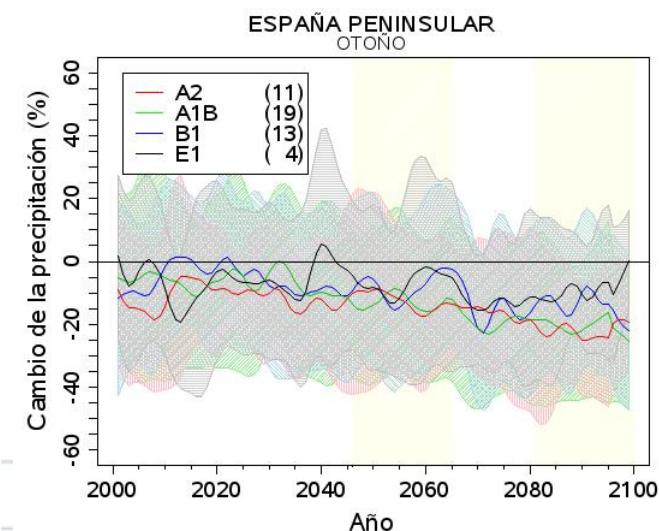
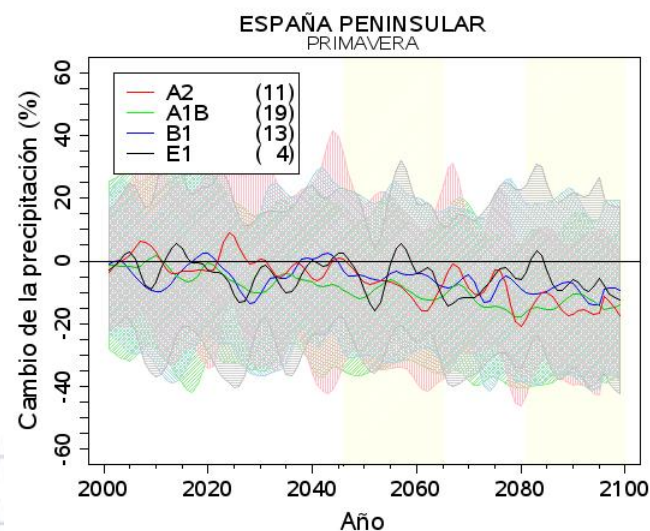
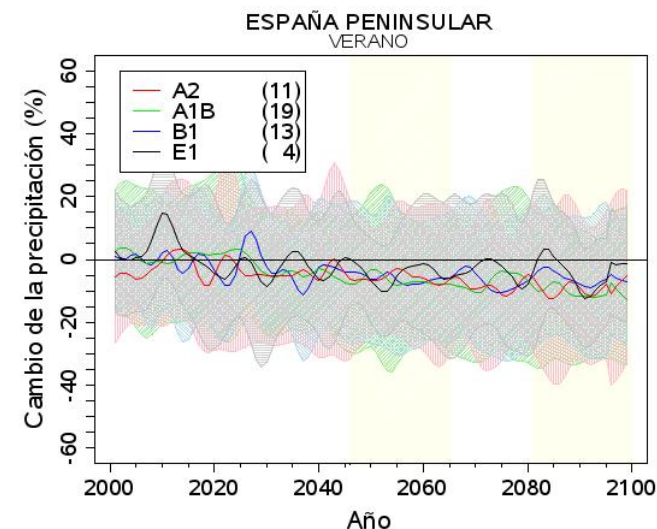
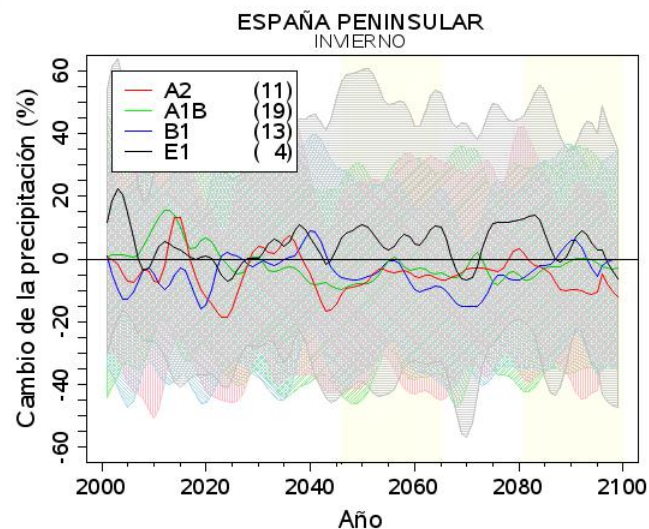
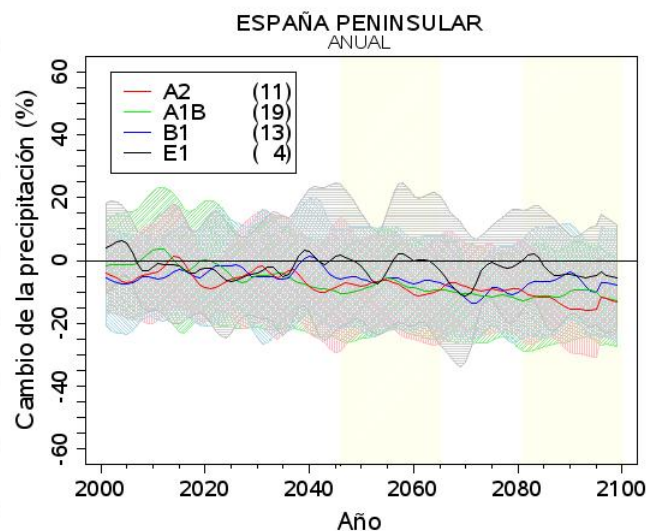
- Especialmente con los escenarios más emisivos, se produce un incremento importante en el número de noches cálidas. Este incremento es significativamente mayor en verano y más marcado hacia el sur y regiones mediterráneas e insulares.
- Paralelamente se produce una disminución en el número de días de helada que manifiesta sobre todo en las zonas donde las heladas son más frecuentes.



# RESULTADOS DE PRECIPITACIÓN



## Evolución Precipitación España Peninsular 2001-2100

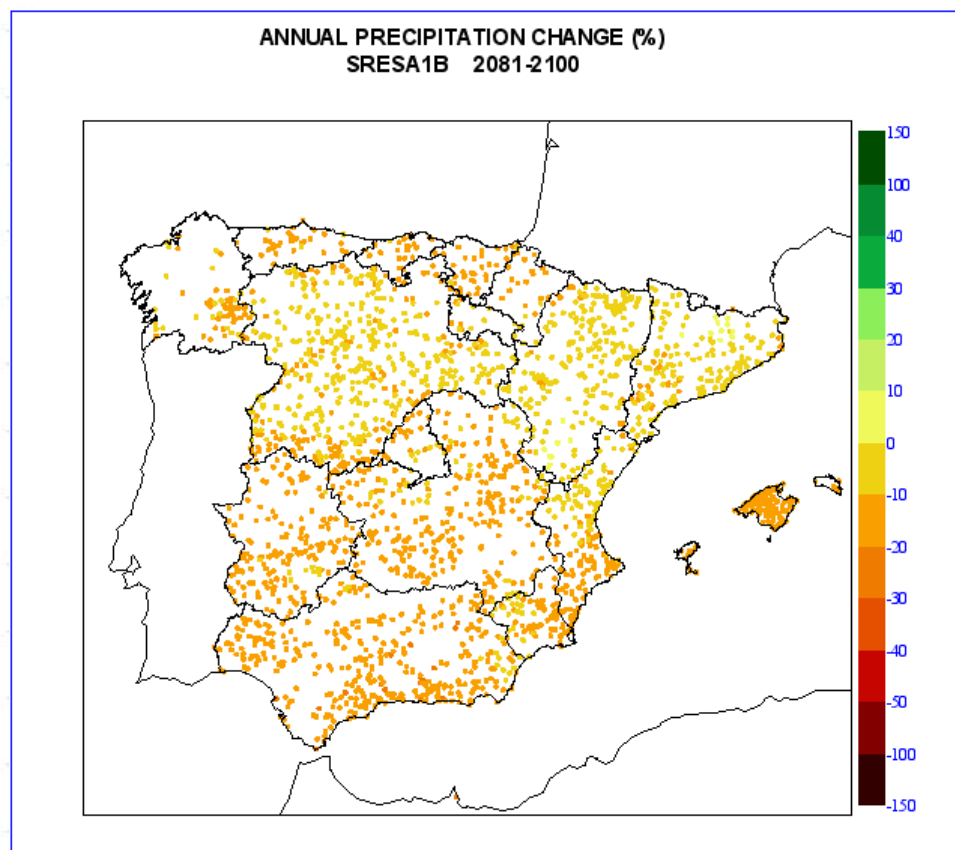




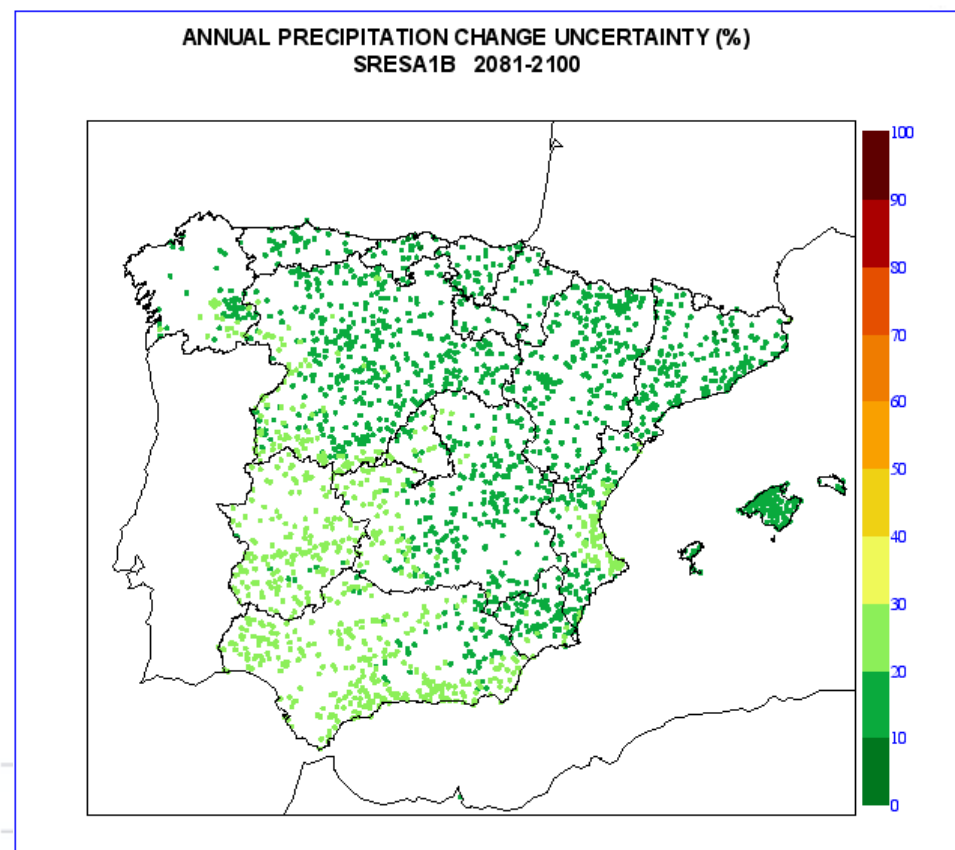
## Precipitación anual 2081-2100

- Escenario A1B

### Variación respecto 1961-2000

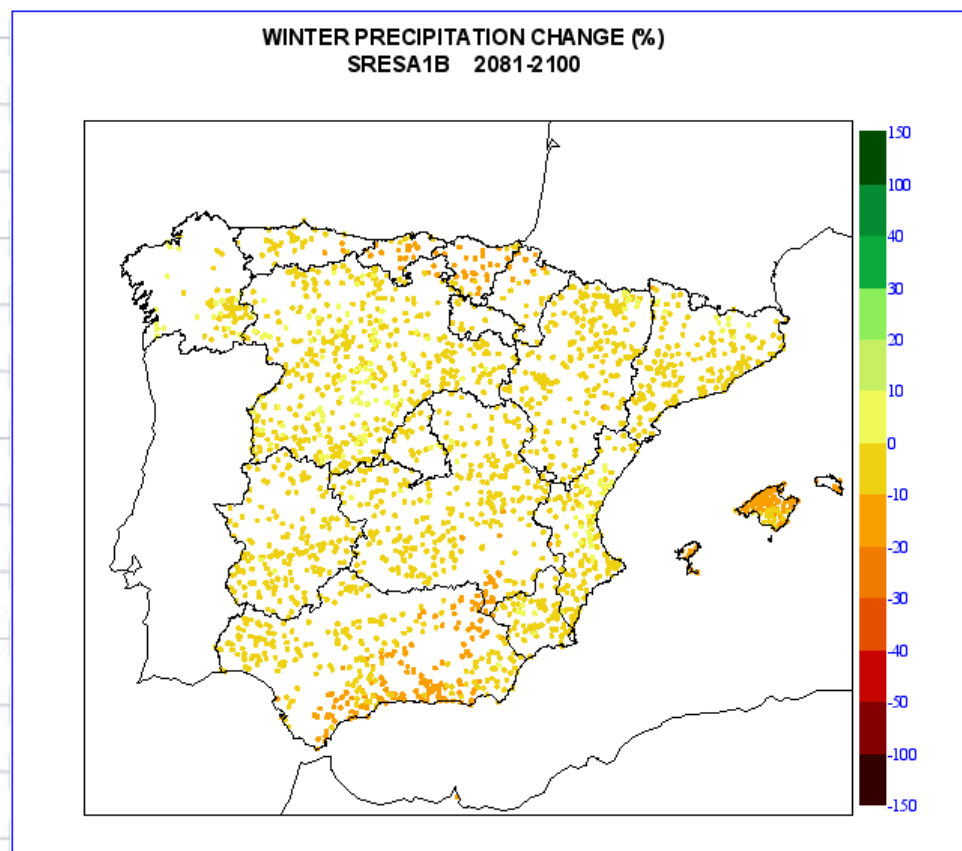


### Incertidumbre

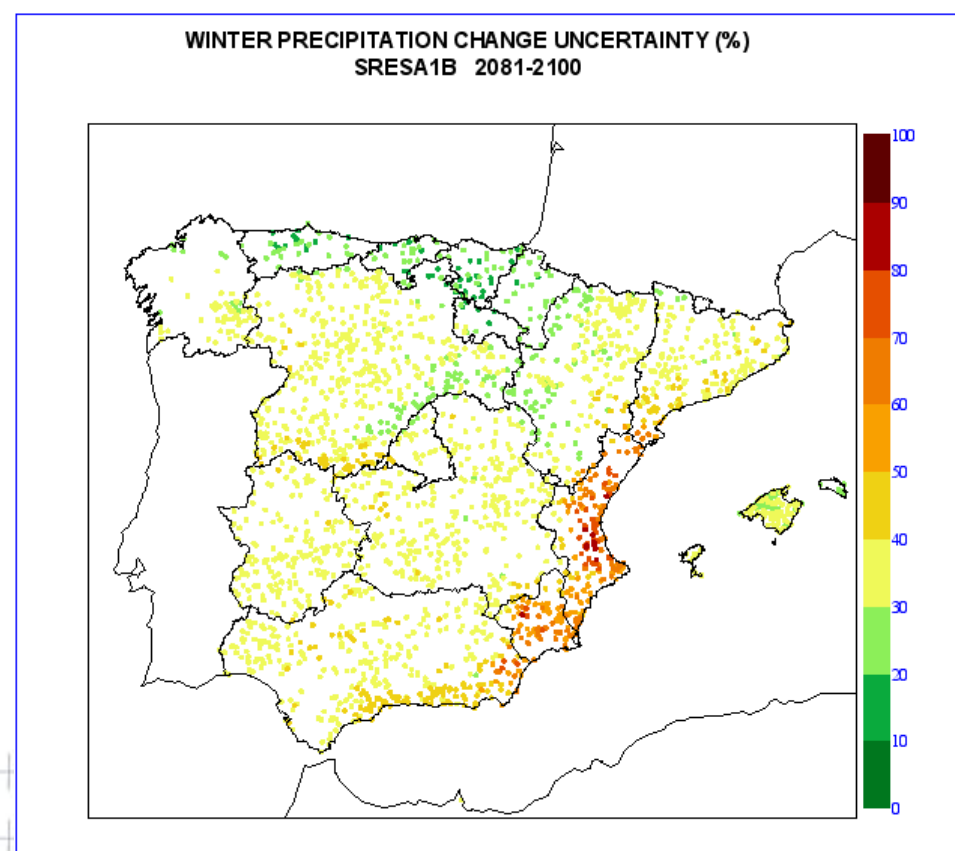


- Precipitación invierno 2081-2100
  - Escenario A1B

### Variación respecto 1961-2000

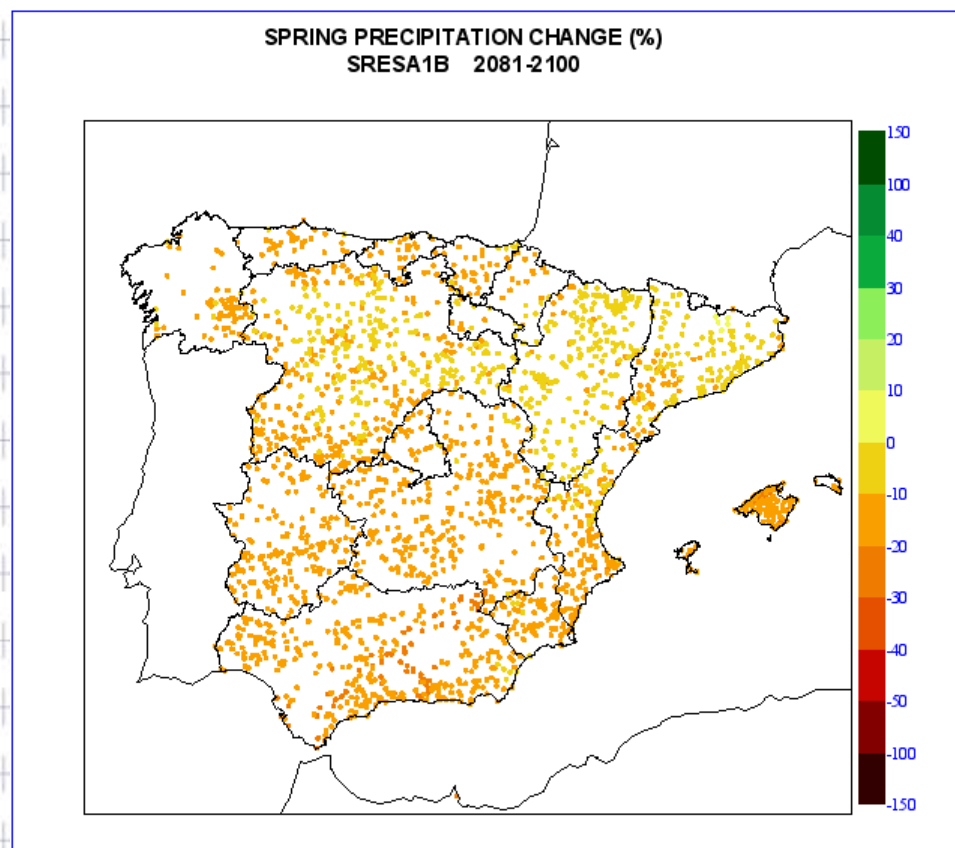


### Incertidumbre

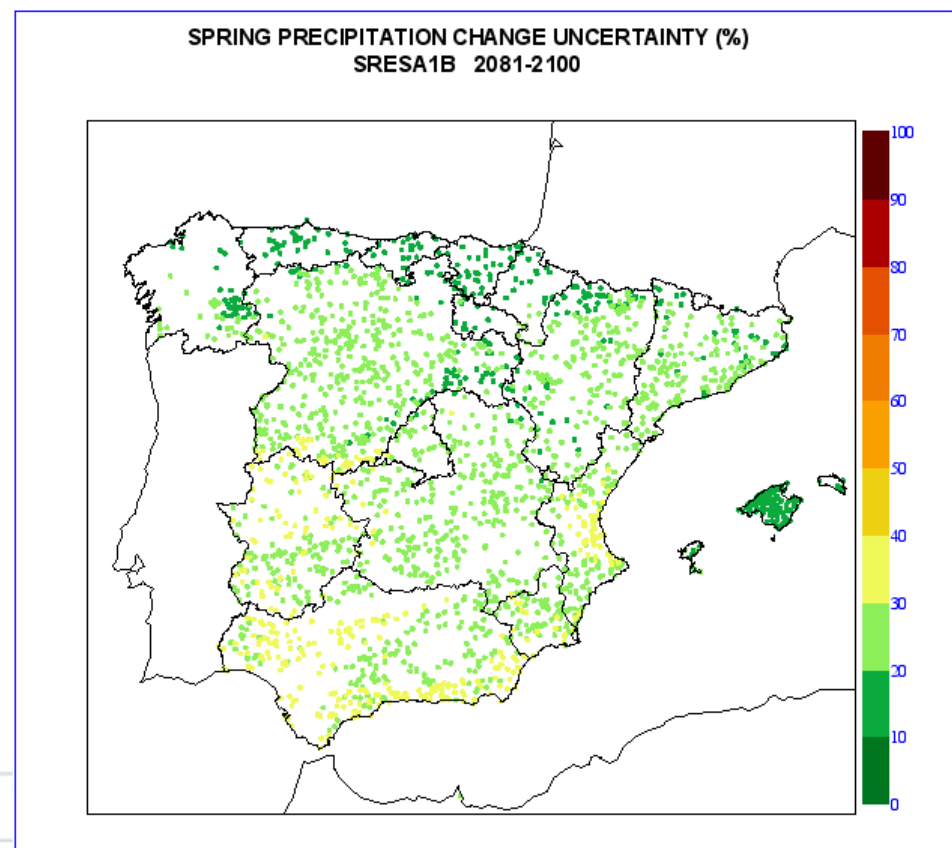


- Precipitación primavera 2081-2100
  - Escenario A1B

### Variación respecto 1961-2000

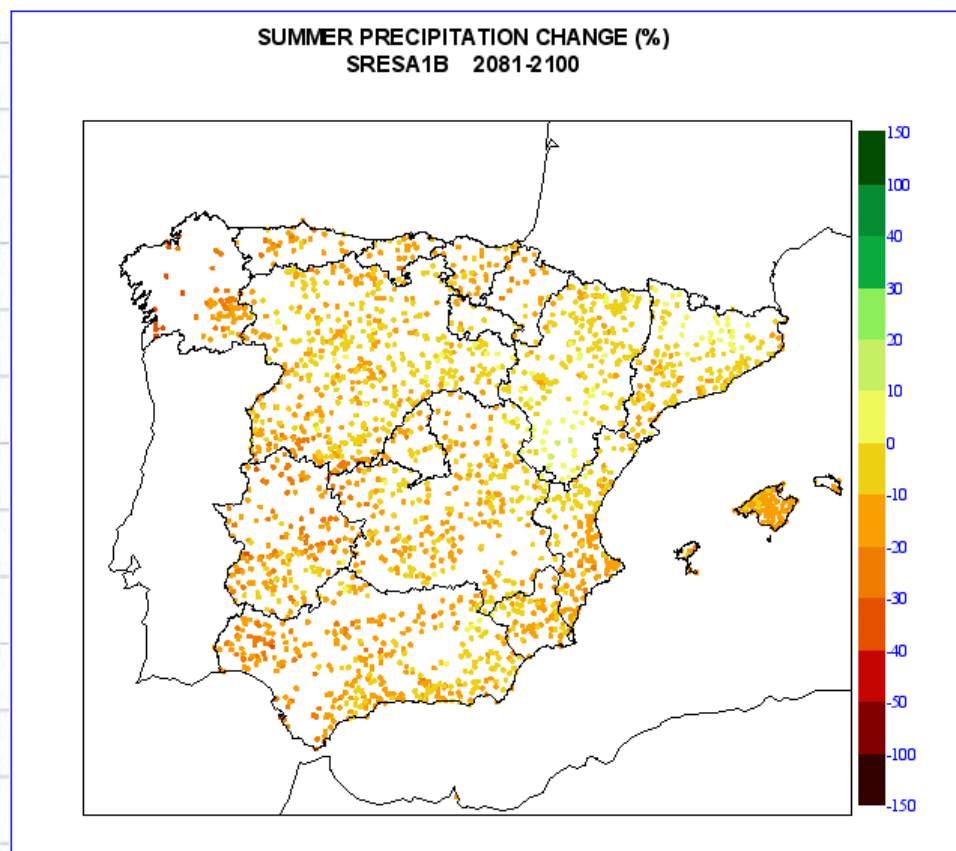


### Incertidumbre

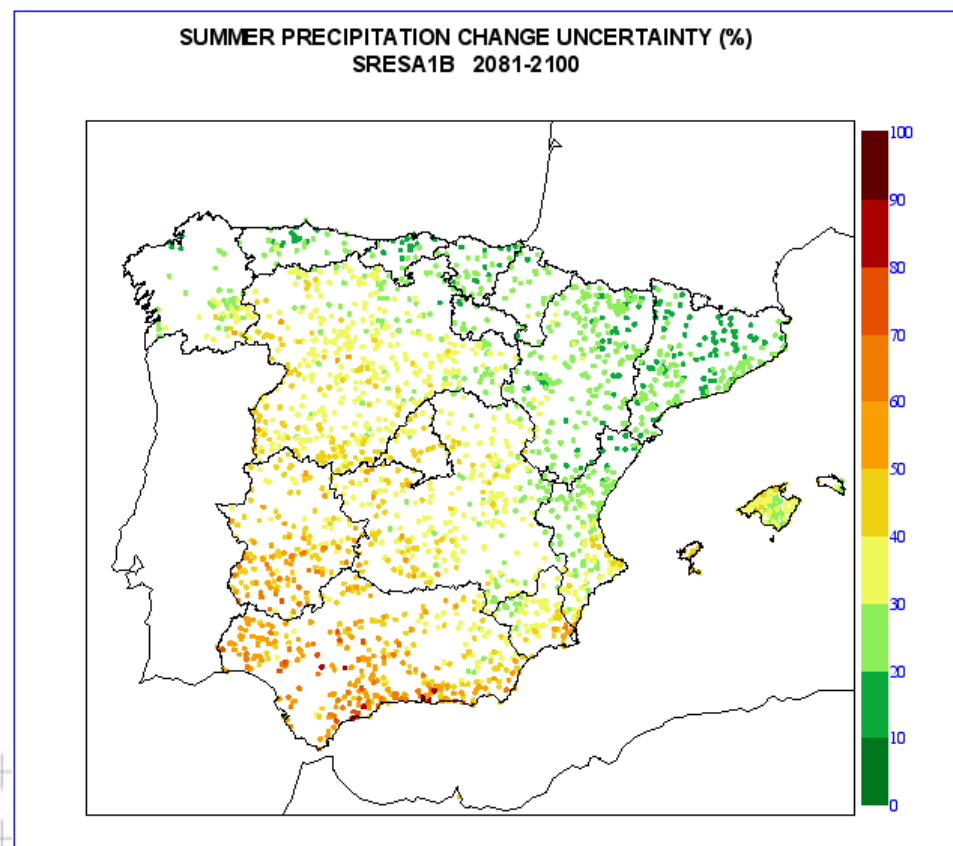


- Precipitación verano 2081-2100
  - Escenario A1B

### Variación respecto 1961-2000



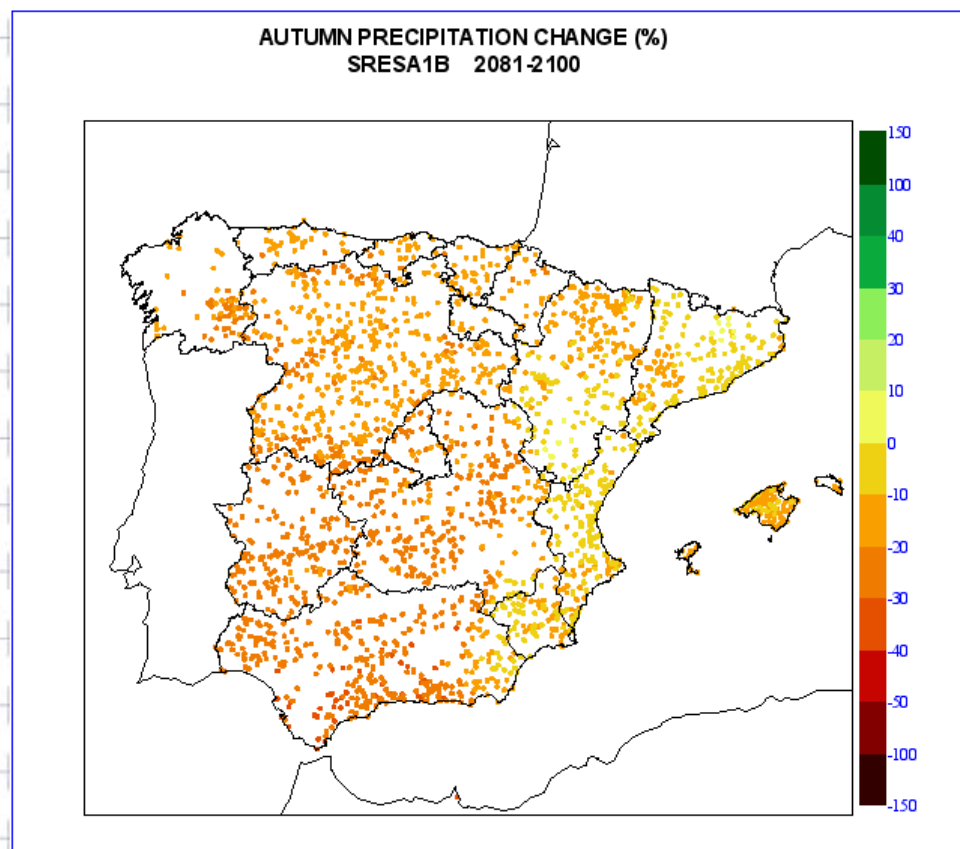
### Incertidumbre



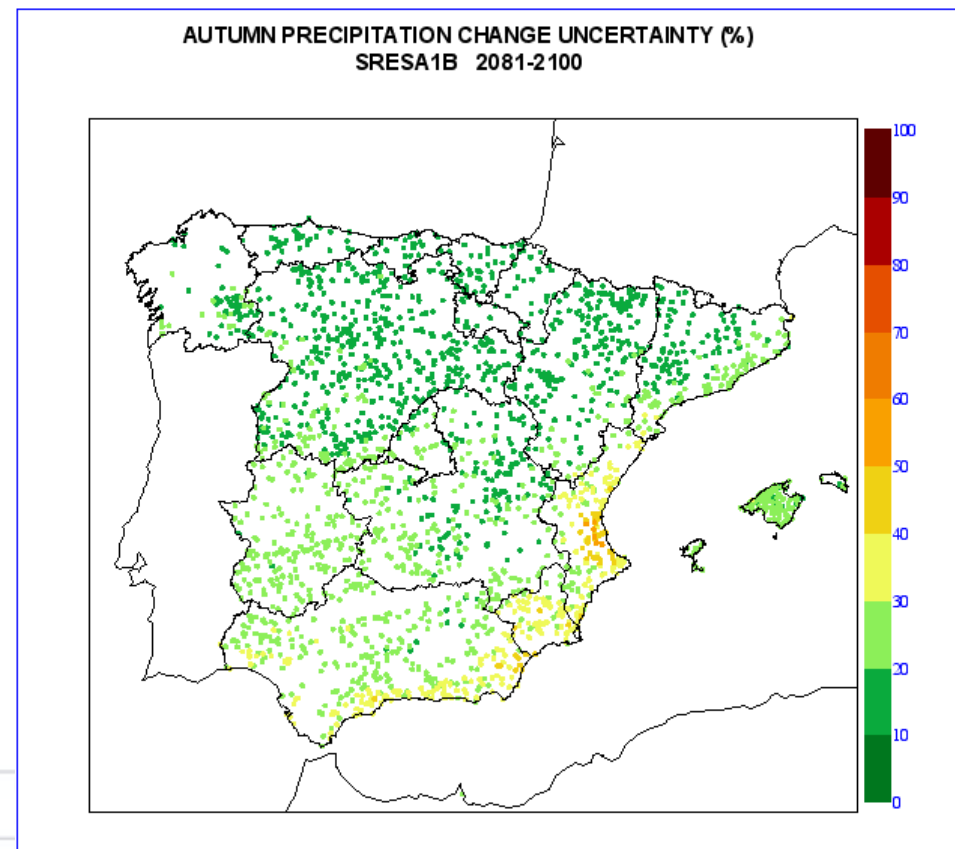


- Precipitación otoño 2081-2100
  - Escenario A1B

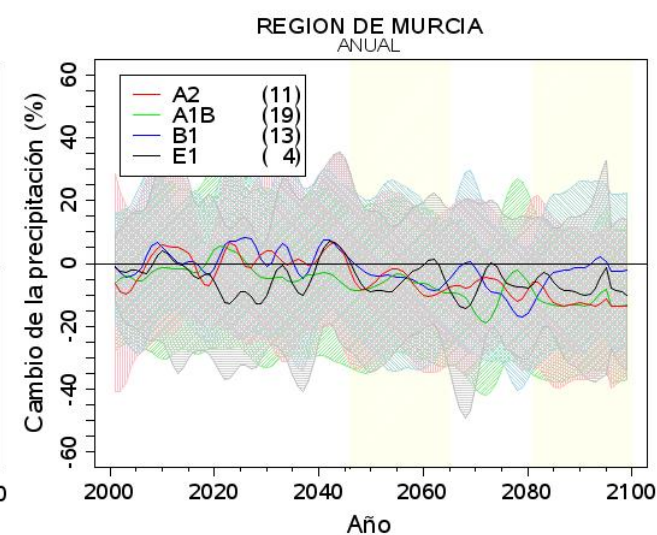
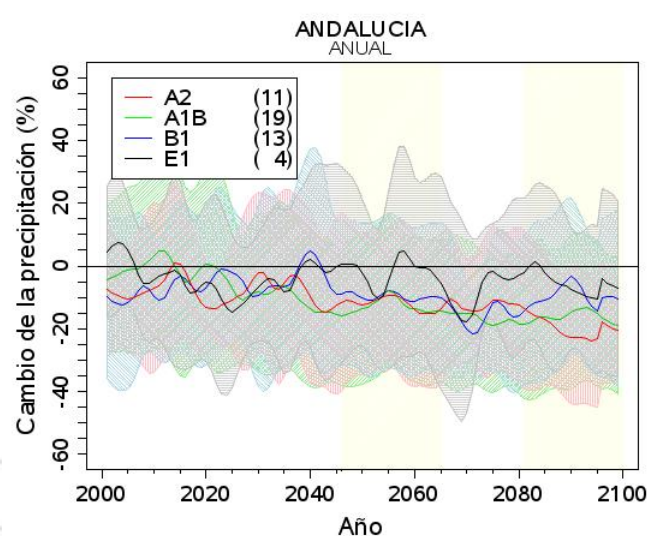
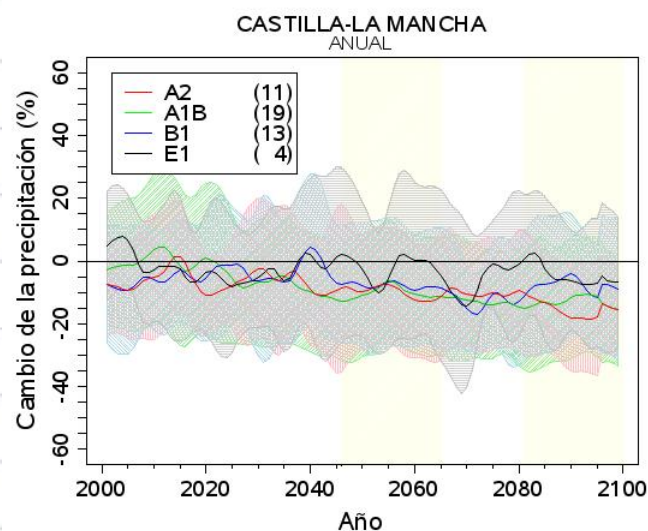
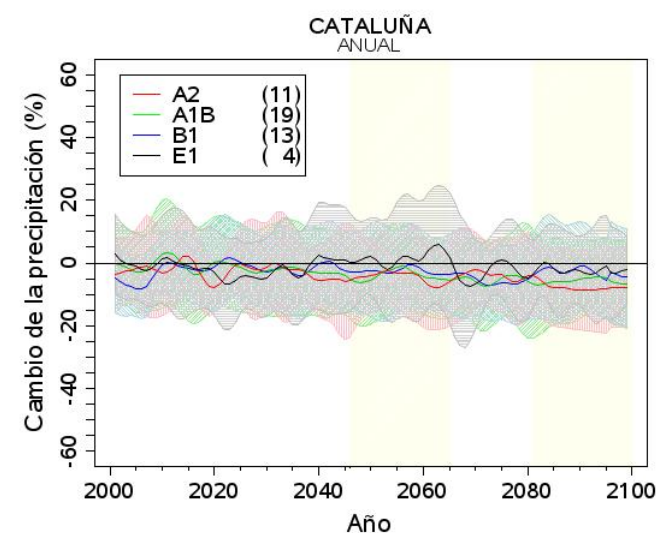
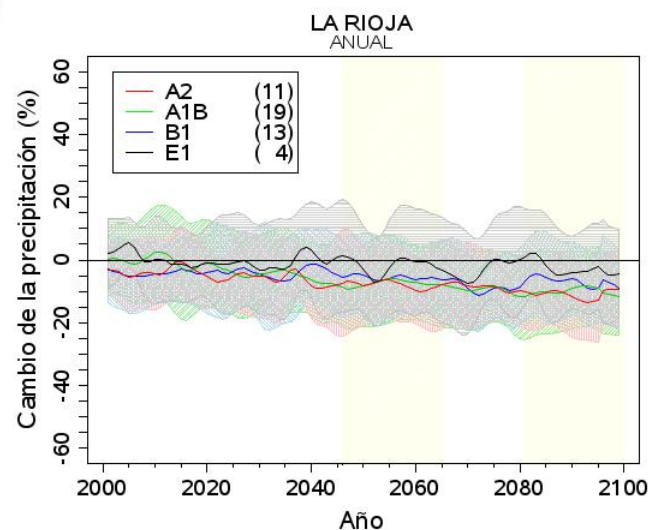
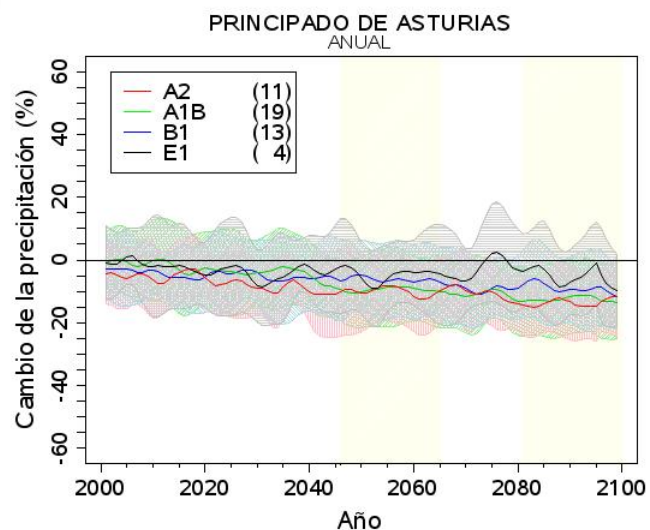
### Variación respecto 1961-2000



### Incertidumbre

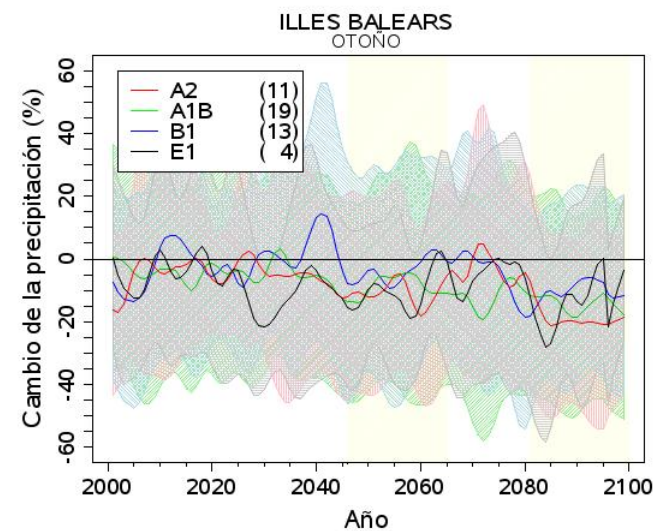
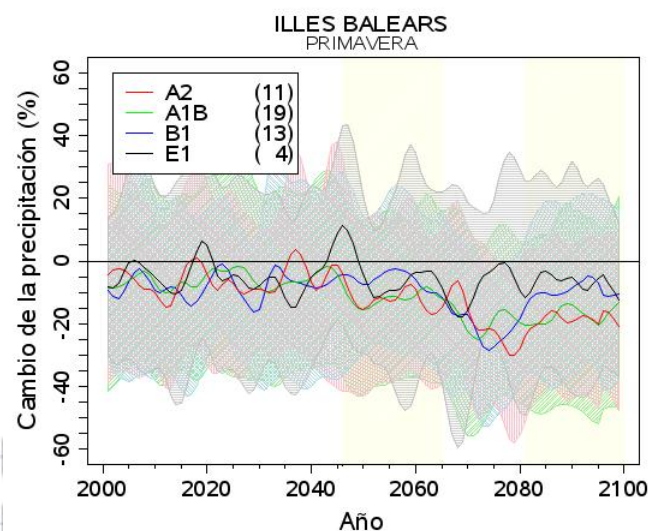
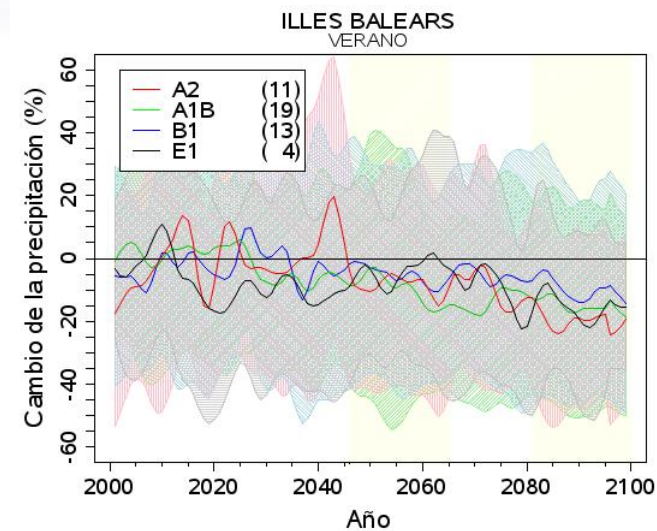
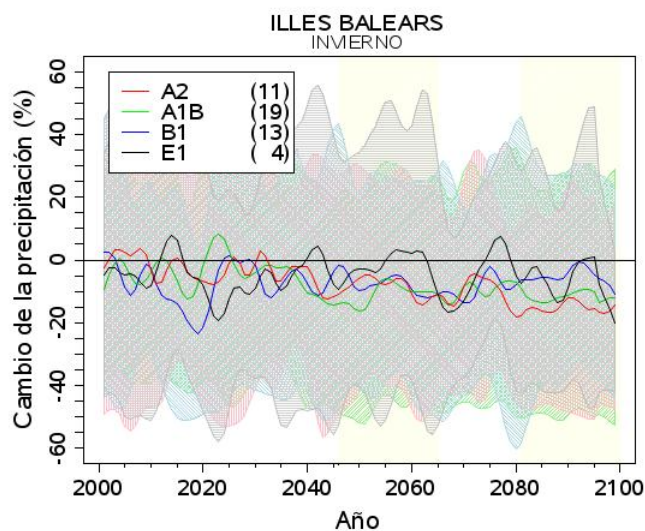
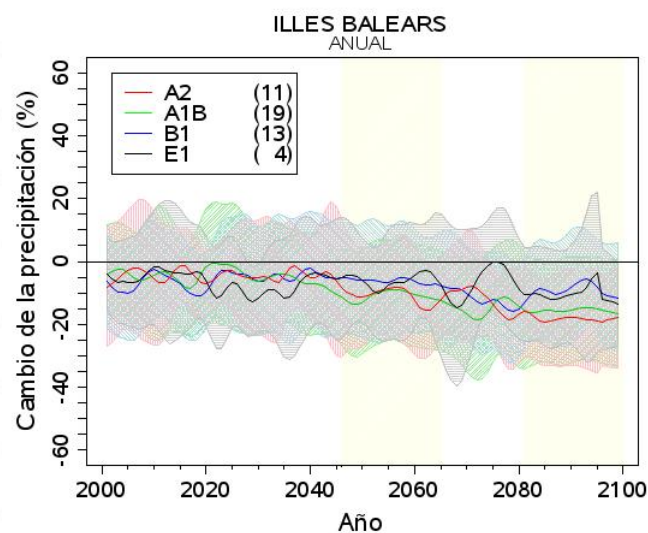


# Evolución Precipitación Anual 2001-2100



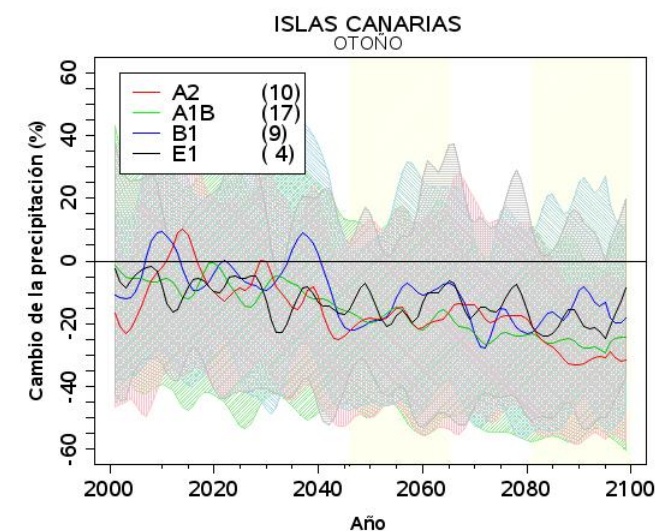
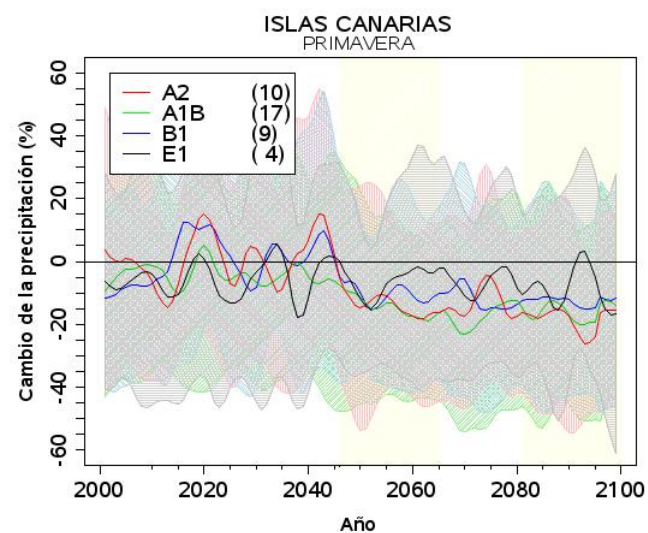
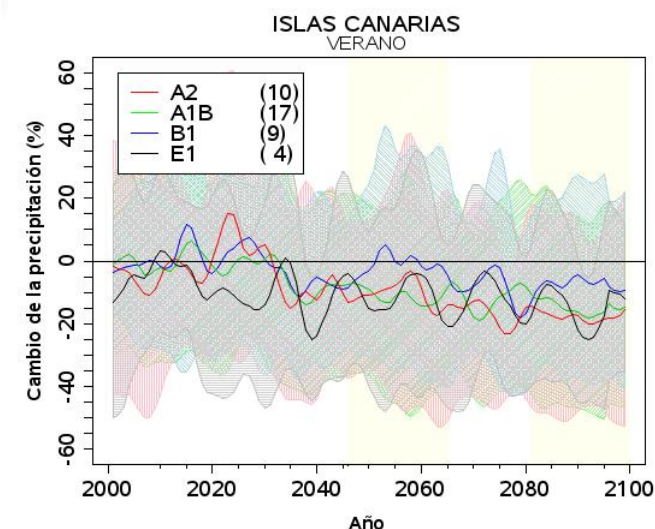
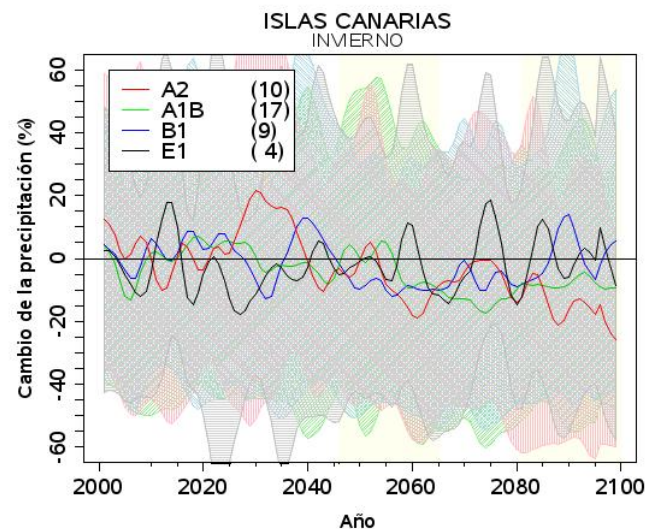
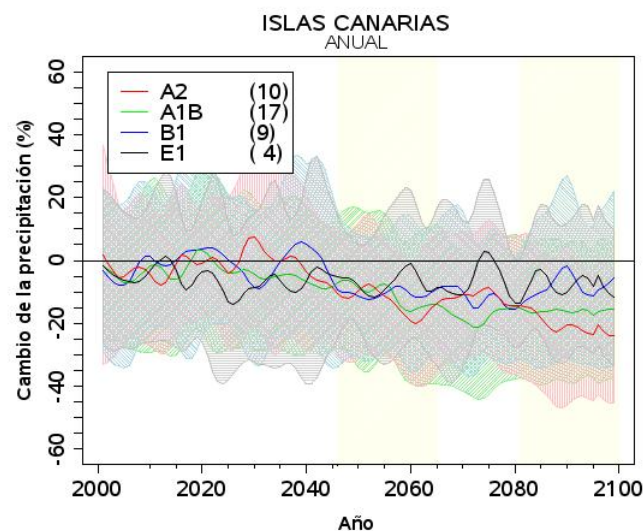


## Evolución Precipitación Anual Illes Balears 2001-2100





## Evolución Precipitación Anual Islas Canarias 2001-2100





## EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN



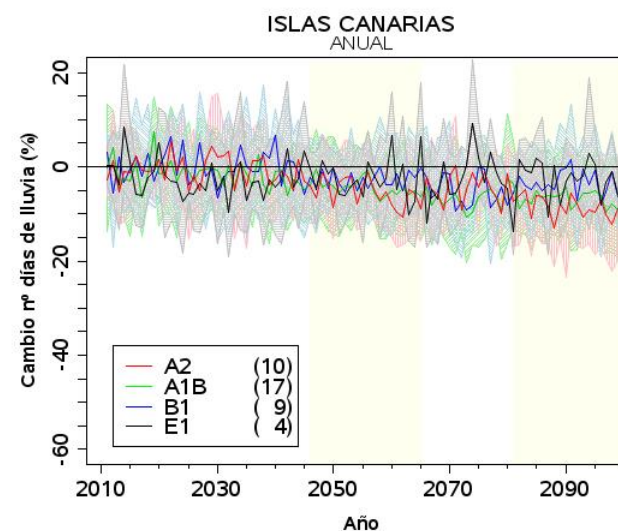
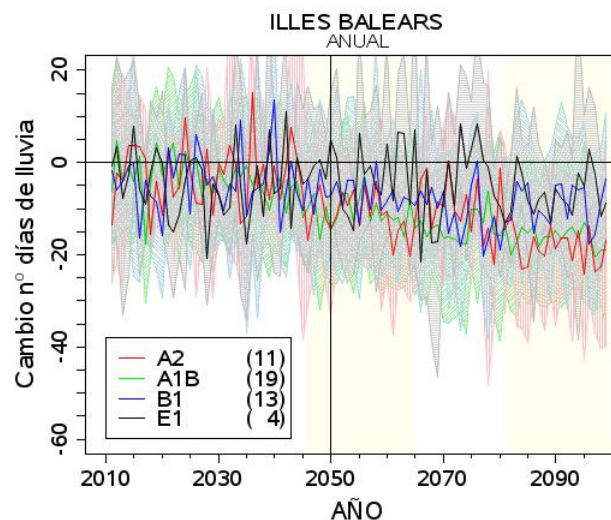
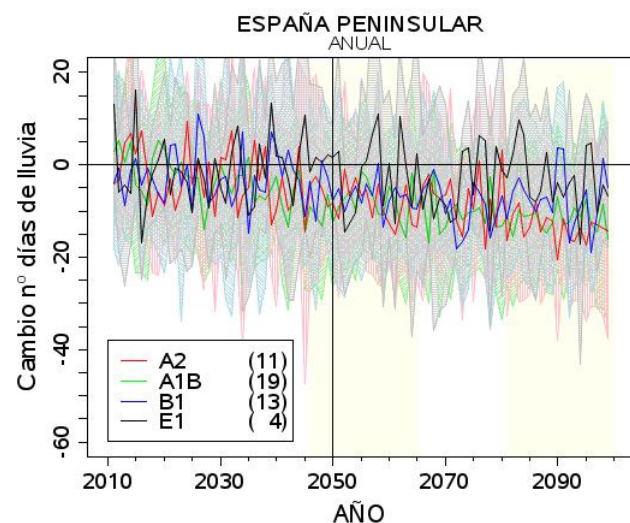
GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE  
Y MEDIO RURAL Y MARINO

**AEMet**  
Agencia Estatal de Meteorología

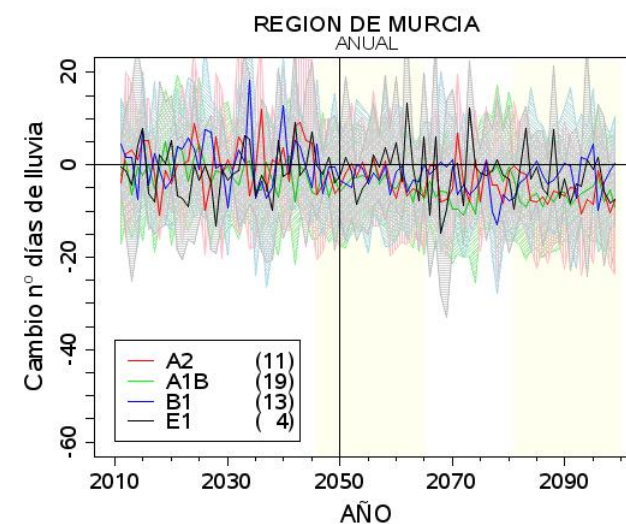
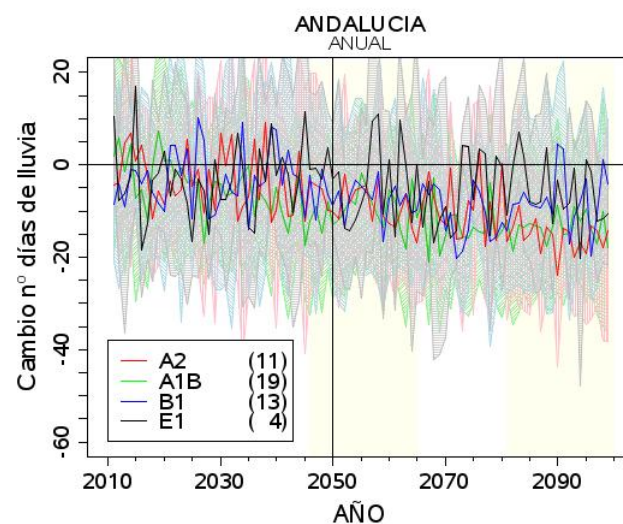
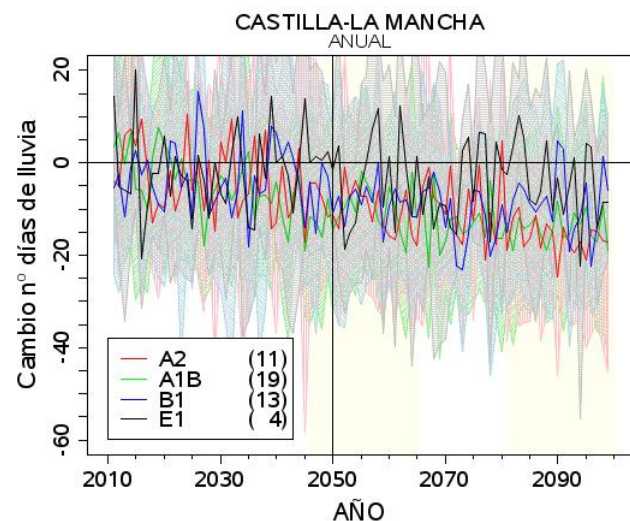
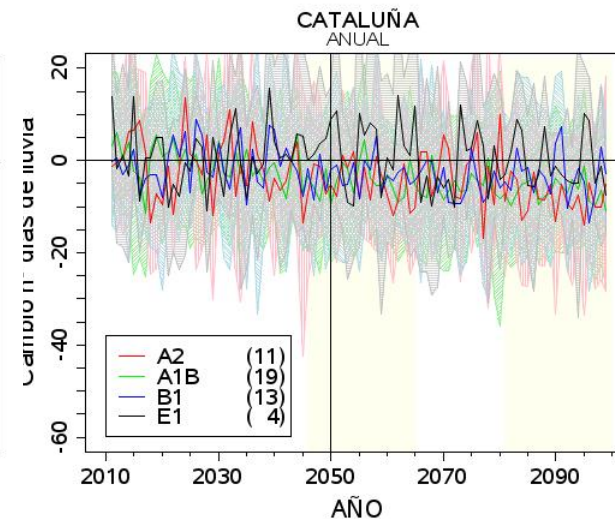
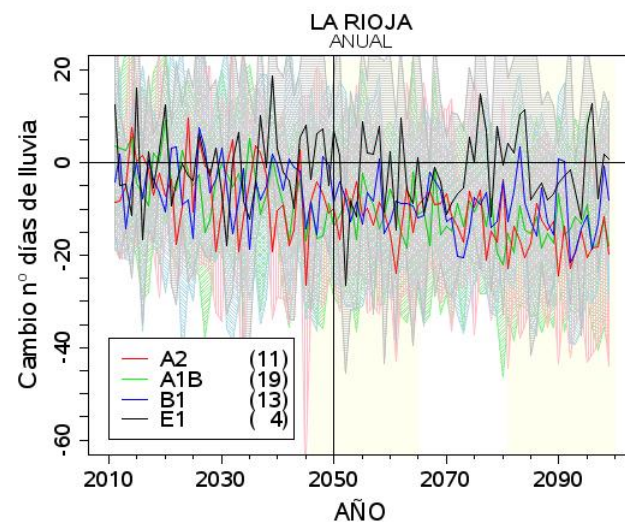
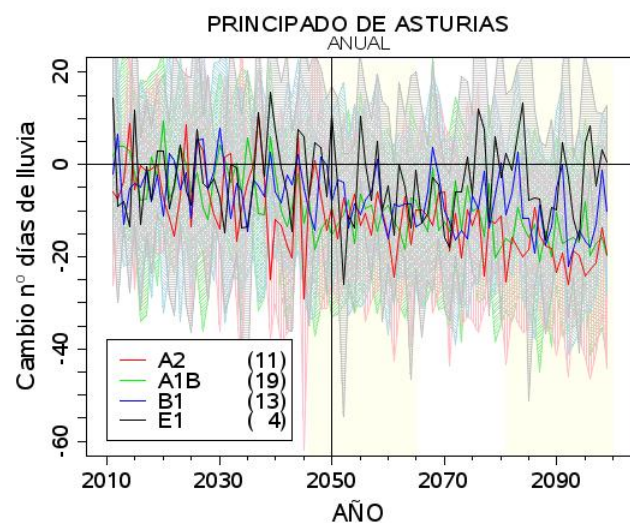
- **Nº días lluvia (DL):** nº de días con precipitación total igual o superior a 1 mm. Los cambios se expresan en días respecto al periodo de referencia.
- **Precipitación intensa (PI):** fracción de la precipitación total registrada en los días cuya precipitación en 24 h es superior al percentil 95 de la distribución de precipitaciones diarias (superiores a 1 mm) en un periodo de referencia. Los cambios se expresan en porcentaje respecto al periodo de referencia.
- **Duración del periodo seco (PS):** nº máximo de días consecutivos sin precipitación o con precipitaciones inferiores a 1 mm. Los cambios se expresan en días respecto al periodo de referencia.

# Cambio en el número de días de precipitación 2001-2100

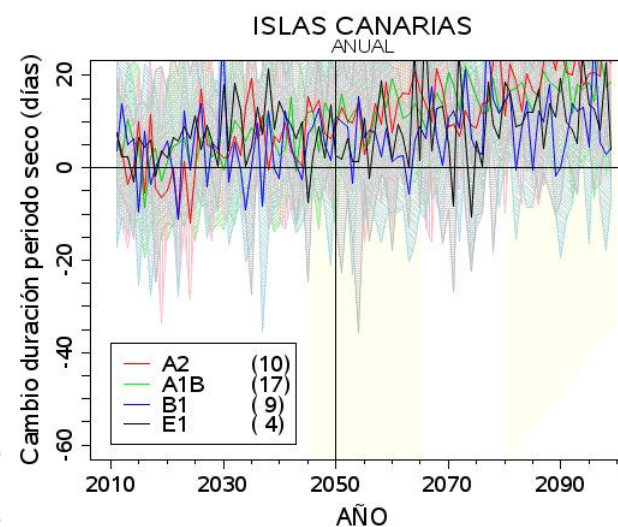
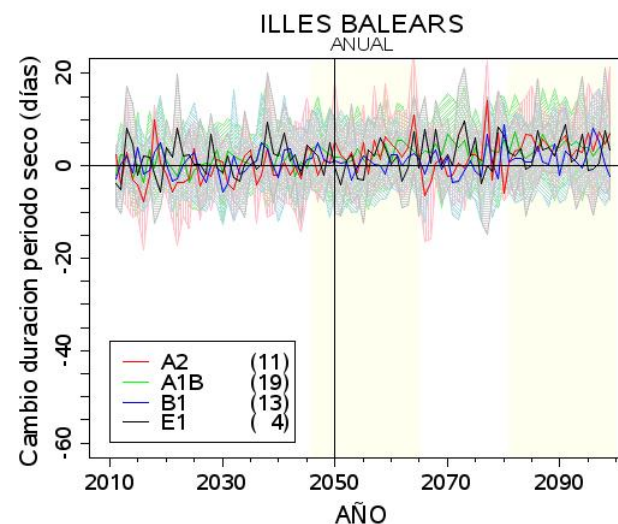
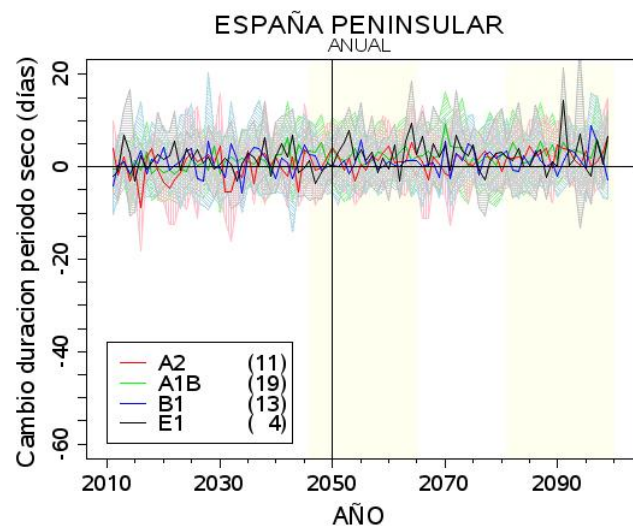




# Cambio en el número de días de precipitación 2001-2100

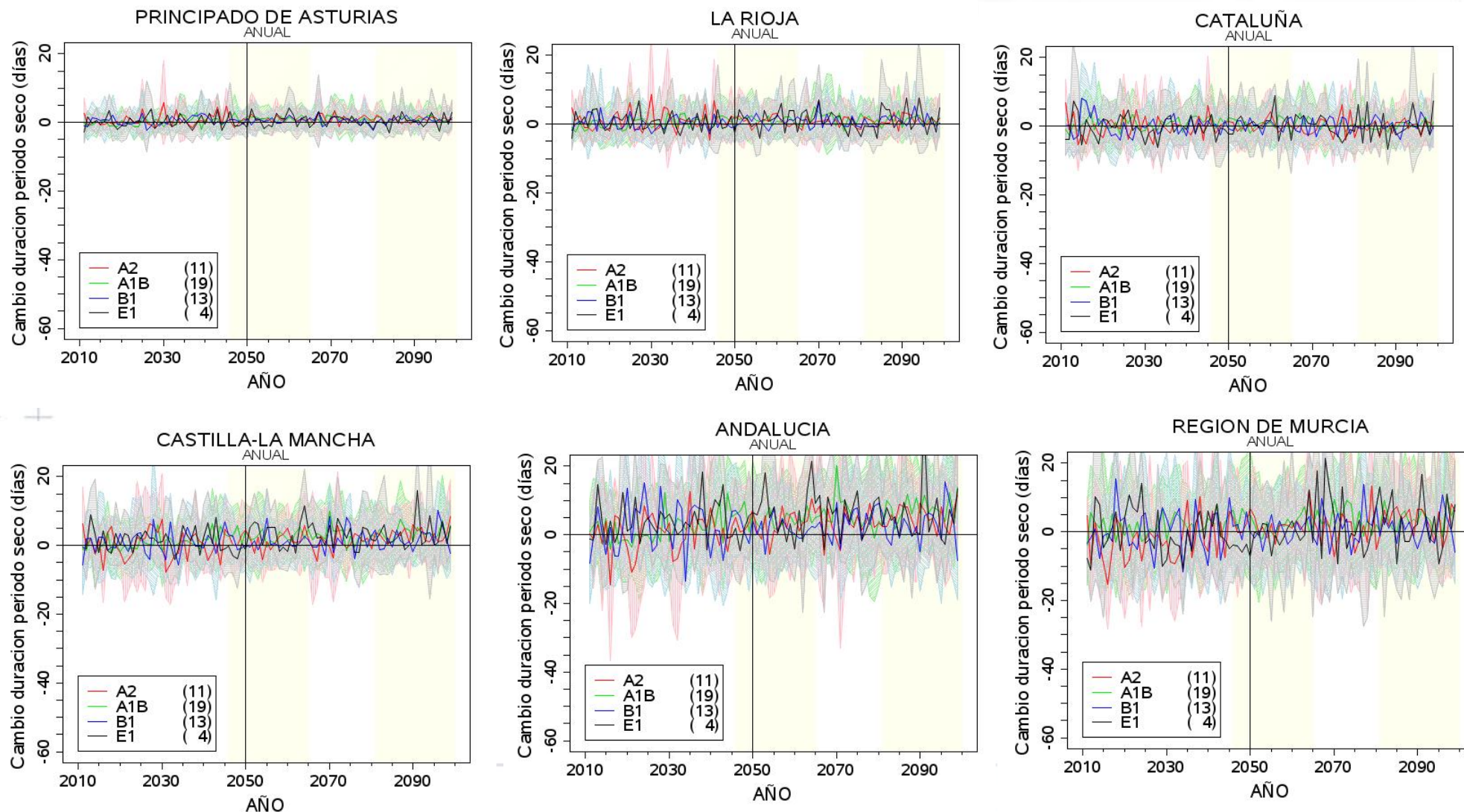


# Cambio en la duración del periodo seco 2001-2100

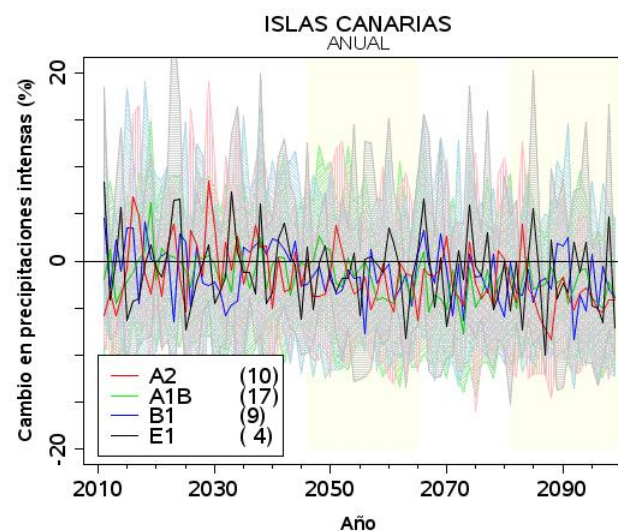
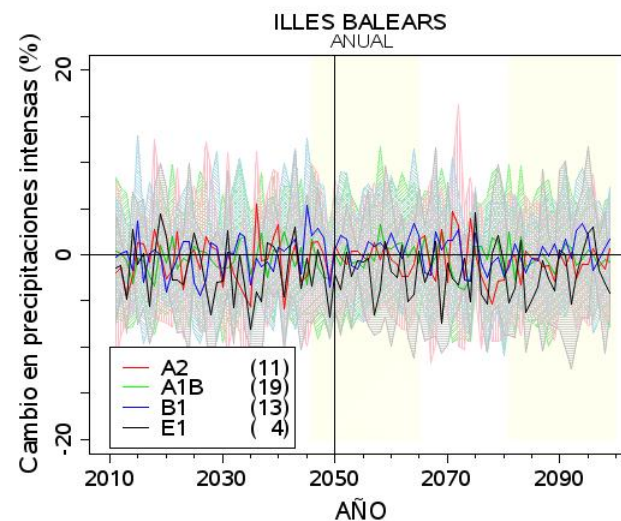
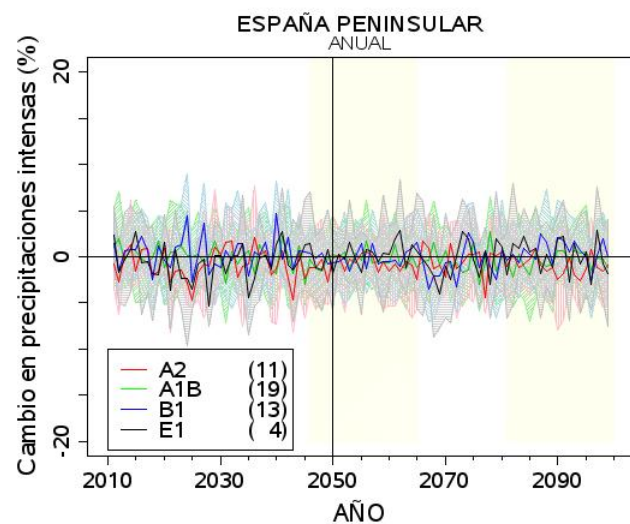




# Cambio en la duración del periodo seco 2001-2100

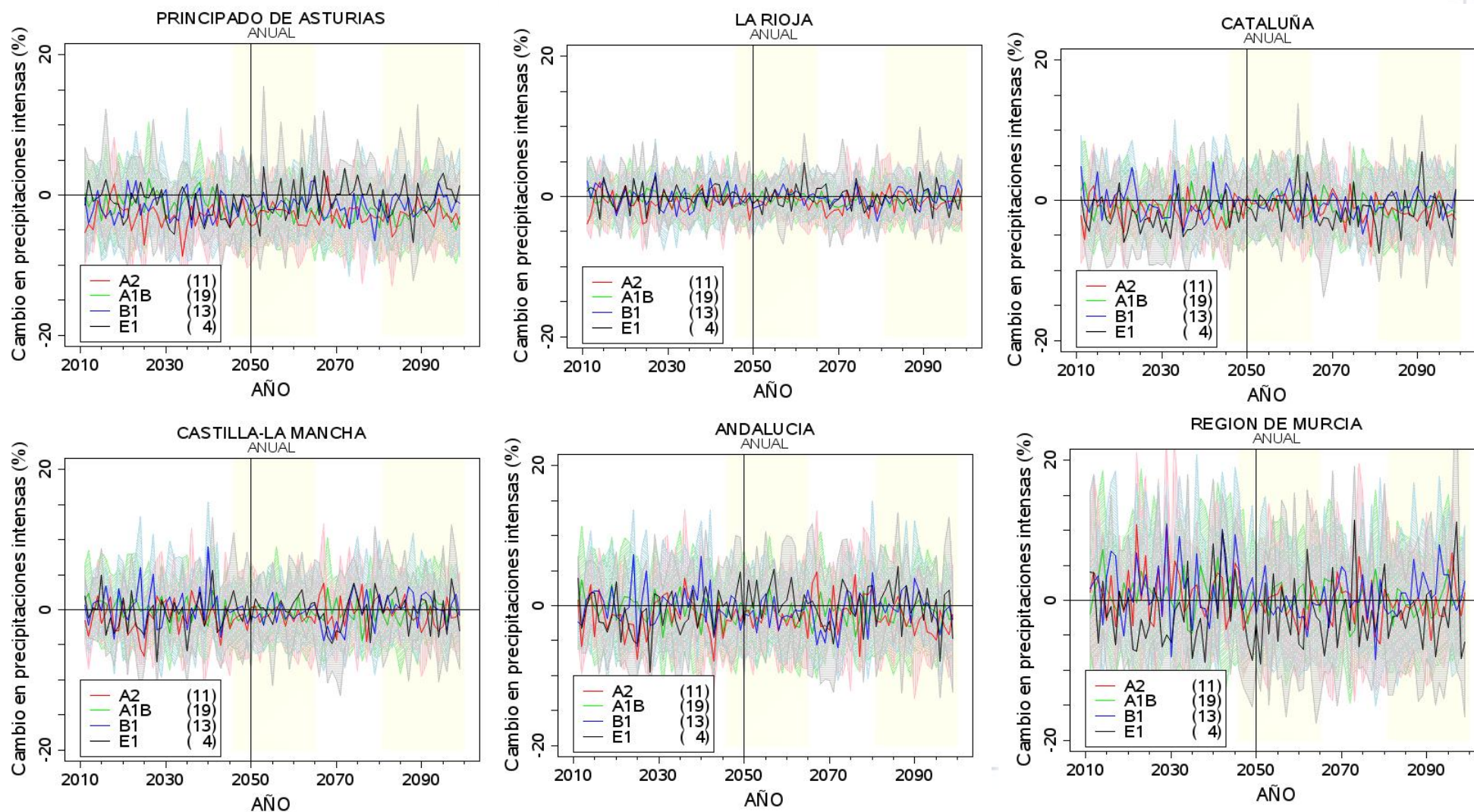


# Cambio en las precipitaciones intensas 2001-2100





# Cambio en las precipitaciones intensas 2001-2100





## CONCLUSIONES SOBRE LA VARIACIÓN DE PRECIPITACIÓN

- En el conjunto de España la precipitación anual presenta una disminución con una ligera tendencia decreciente
- Estacionalmente esa disminución es más acusada en otoño, y algo menos en primavera y menor en verano, mientras que en invierno hay más variabilidad, presentándose incluso periodos con aumentos especialmente con los escenarios menos emisivos
- Geográficamente la tendencia a la disminución es algo menor en la mitad norte que en la sur y también parece ligeramente algo menor en zonas mediterráneas





## CONCLUSIONES SOBRE LA INCERTIDUMBRE EN LA VARIACIÓN DE PRECIPITACIÓN

- Aunque en general, los distintos modelos suelen presentar tendencias parecidas, la dispersión entre ellos es acusada siendo significativa la incertidumbre
- La incertidumbre de la variación anual es mayor en la mitad sur que en la mitad norte
- Estacionalmente la incertidumbre es aún mayor siendo bastante marcada en invierno especialmente en el sur y zonas mediterráneas siendo, en general, mayor en estas zonas que en el resto en todas las épocas del año



## CONCLUSIONES SOBRE EL NÚMERO DE DÍAS DE LLUVIA

- De un modo general se observa una tendencia decreciente en el número de días de precipitación en todos los escenarios siendo mayor la disminución en los escenarios más emisivos
- Las disminuciones parecen menos marcadas en las zonas mediterráneas



## CONCLUSIONES SOBRE LA DURACIÓN DEL PERIODO SECO SOBRE PRECIPITACIONES INTENSAS

- Sobre la duración del periodo seco no puede hablarse de conclusiones claras, no obstante, podría quizás deducirse una duración ligeramente mayor en las regiones del sur mientras que en las del norte apenas se producirían variaciones
- Respecto a las precipitaciones intensas no hay nada concluyente, prácticamente no hay señal en los resultados.



## CONSIDERACIONES

- La información base predictora proporcionada por los modelos globales, no puede contemplar algunos detalles importantes de escala local o regional especialmente importantes en el caso de la precipitación.
- La regionalización estadística tiende a suavizar los resultados lo que influye sobre la estimación de valores extremos





# PERSPECTIVAS

- La regionalización conjunta dinámica y estadística posiblemente mejorase, en general los resultados especialmente en la precipitación y sus valores extremos.